Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 1, 2024, p. 19-45

Effects of Tillage Types on Morpho-Physiological Characteristics and Forage Quality of Vetch (*Vicia pannonica*) in Rainfed Condition

Seyed Shahram Elyasi[1], Alireza Pirzad[2*], Jalal Jalilian[3], Ebrahim Roohi[4] and Adel Siosemardeh[5]

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor, and Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Horticultural and Crop Science Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Sanandaj, Iran
5- Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
(*- Corresponding author's Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

Received: 18-05-2022 Revised: 30-07-2022 Accepted: 31-08-2022 Available Online: 31-08-2022	**How to cite this article:** Elyasi, S.S., Pirzad, A., Jalilian, J., Roohi, E., & Siosemardeh, A. (2024). Effects of tillage types on morpho-physiological characteristics and forage quality of vetch (*Vicia pannonica*) in rainfed condition. *Journal of Agroecology*, *16*(1), 19-45. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

Introduction

Vetches are especially important due to their resistance to cold and water-deficient stresses, and due to the high amount of crude protein and detergent fibers, they have the same nutritional value as alfalfa and clover. Planting vetch can increase soil nitrogen due to the symbiosis of its root nodes with Rhizobium bacteria. No-tillage reserves more moisture in the soil than other tillage systems. No-tillage and reduced tillage significantly increase mycorrhizal fungi in soil compared to conventional tillage. Increased leaf area index (LAI) and dry matter in plants under reduced and no-tillage systems have been observed, too. Also, increases in chlorophyll concentration, decreases in canopy temperature, increases in plant height and improvements in forage quality in plants under a no-tillage system have been reported. This experiment evaluated the effects of different types of tillage on morpho-physiological traits related to yield and quality of vetch forage to protect the soil and select the best tillage system.

Materials and Methods

This experiment was carried out in Saral Rainfed Agricultural Research Station located 55 km north of Sanandaj county, Kurdistan province, in the west of Iran. The effects of reduce tillage (RT), no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) systems were evaluated on rainfed vetch in rotation with wheat during two years (2018-02019). Sowing date was 18 and 9th of October in the two experimental years respectively. All sampling of rhizobium nodules, relative leaf water content, leaf area index, chlorophyll and carotenoids, chlorophyll fluorescence, canopy temperature, enzymes, proline, hydrogen peroxide, malondialdehyde, leaf soluble proteins and carbohydrates, leaf elements took place in early seed filling stage. The combined (2-year data) analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS software by the general linear model (GLM). The means value

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

were compared using Duncan’s range test at $P \leq 0.05$.

Results and Discussion

In this study, the yield of dry forage in reduced and no-tillage systems increased by 14 and 24%, respectively, compared to CT. A significant relationship ($R = 0.75^*$) was obtained between the relative leaf water content and dry forage yield. According to the results, vetch in the no-tillage system had the highest percentage of colonization (30.16%), the number of fungal spores (179.8), and rhizobium nodes (12.16) on the roots. The high symbiosis of mycorrhizal fungi in RT and NT compared to CT was probably due to higher water uptake and higher RWC. In the present study, vetches under the NT system probably had higher chlorophyll a and b concentration due to more moisture and higher nitrogen and phosphorus in leaves. The results showed that the tillage treatments had significant effects on the activity of reactive oxygen species (ROS), which was directly related to the amount of plant moisture and antioxidant enzymes. The lowest activity of enzymes was in vetches under a no-tillage system.

Conclusion

In this experiment, reduced and no-tillage systems increased yield compared to conventional tillage. Significant increases in relative leaf water content and canopy temperature difference were observed in different types of tillage. Chlorophyll content and carotenoids in plants grown in the conventional tillage were lower than in reduce and no-tillage systems. The percentage of colonization, sporulation of mycorrhizal fungi, and the number of rhizobium nodes were higher in no-tillage system. The levels of antioxidant enzymes, hydrogen peroxide, malondialdehyde, and proline increased in CT compared to RT and NT. Types of tillage in rainfed conditions due to biological and structural changes in the soil cause positive morpho-physiological changes and forage quality in rainfed vetch seem to be effective in increasing yield and improving growth conditions.

Keywords: Chlorophyll, Forage, Mycorrhiza, Near-infrared reflectance (NIR), Oxidant, Relative leaf water content

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ١٦، شماره ١، بهار ١٤٠٣، ص ٤٥-١٩

اثر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک گل سفید (*Vicia pannonica*) در شرایط دیم

سید شهرام الیاسی[1]، علیرضا پیرزاد[2]*، جلال جلیلیان[3]، ابراهیم روحی[4] و عادل سی و سه مرده[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

چکیده

به‌منظور تأثیر انواع خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد کمّی، کیفی و ارزش علوفه‌ای گیاه ماشک (*Vicia pannonica*) در تناوب زراعی با گندم آزمایش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سال‌های ۱۳۹۸- ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل کاشت گیاه ماشک به‌صورت کم‌خاک‌ورزی، کشت مستقیم و خاک‌ورزی مرسوم اعمال شد. در تیمار کشت مرسوم شاخص سطح برگ، عملکرد کوانتومی، رطوبت نسبی برگ، نیتروژن و فسفر برگ به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کاشت مستقیم کاهش داشتند. کاشت مرسوم باعث کاهش کلروفیل در برگ‌ها به‌میزان ۲۰/۱ و ۳۵/۶ درصد به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم شد. بیشترین میزان تغییرات دمای تاج‌پوشش با محیط در تیمار بدون خاک‌ورزی بود و همبستگی معنی‌داری ($R=۰/۹۸^{**}$) با رطوبت نسبی برگ داشت. کمترین مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در برگ گیاهان کشت شده به‌روش کشت مستقیم و بیشترین میزان در کشت مرسوم مشاهده شدند. میزان کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ‌های مایکوریزا و همچنین تعداد گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم افزایش معنی‌داری را به‌ترتیب نسبت به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشتند. کشت مستقیم باعث افزایش درصد هضم‌پذیری علوفه شد که همبستگی معنی‌داری ($R=۰/۹۶^{**}$) با کاهش دمای تاج‌پوشش داشت. نتایج در این آزمایش نشان دادند که صفات مورفو- فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده و کیفیت علوفه در گیاه ماشک تحت تأثیر انواع خاک‌ورزی قرار گرفتند، به‌طوری‌که بهبود وضعیت در تمامی صفات در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: اکسیدانت، رطوبت نسبی برگ، طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR)، کلروفیل، مایکوریزا

مقدمه

هرساله حدود دو تا سه میلیون هکتار از اراضی دیم در کشور ایران (تقریباً ۵۰ درصد) تحت شرایط آیش می‌باشد و سهم گیاهان علوفه‌ای یک ساله در تناوب زراعی دیم‌زارها بسیار ناچیز است (Alizadeh & Silva., 2013). ماشک‌ها (*Vicia* spp.) با حدود ۱۵۰ گونه مختلف از گیاهان تیره Fabaceae دارای ارزش غذایی یکسانی با یونجه (*Medicago sativa*)، شبدر (*Trifolium* spp) و سایر گیاهان خانواده لگومینوز هستند (Firincioglu et al., 2010; Abdullah et al., 2010) و از دیرباز کشت آن‌ها رایج بوده است (Rastegar, 2005). ارزش غذایی یونجه با ماشک برابر است، امّا تغذیه با ماشک باعث ایجاد نفخ در دام‌ها نمی‌شود (Kurdali, 1996).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
۵- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

سطح زیر کشت نباتات علوفه‌ای دیم در ایران در حدود ۱۰۰هزار هکتار با تولید ۶۶۲۴۰۰ تن است که سهم ماشک بسیار اندک و آمار دقیقی از سطح زیر کشت آن در کشور موجود نیست (Ministry of Agricultural Jahad, 2020). کیفیت علوفه ماشک گل سفید (*Hungarian vetch*) بیشتر به‌واسطه پروتئین خام و میزان الیاف شوینده مشخص می‌شود که این صفات کیفی غالباً متأثر از میزان علوفه و تازگی آن می‌باشد (Broderick, 1995). ماشک‌ها با توجه به مقاومت در مقابل سرما و کم‌آبی به‌صورت ویژه مورد توجه می‌باشند (Alizadeh, 2019). کاشت گیاه ماشک در اراضی کم‌بازده می‌تواند به‌دلیل تثبیت نیتروژن اتمسفر به‌واسطه همزیستی گره‌های ریشه‌ای خود با باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium leguminosarum*) موجب افزایش نیتروژن خاک شده و مصرف کودهای نیتروژنی را کاهش دهد (Rebole et al., 2004) علاوه‌براین در تولید کود سبز، کنترل علف‌های هرز و تناوب زراعی به‌جهت حذف آیش و بهره‌برداری بیشتر از اراضی مؤثر است (Abdullah et al., Firincioglu et al., 2010 ; 2010). از طرف دیگر، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن سبب افزایش تقسیم سلولی در ریشه، تغییر مورفولوژی ریشه، افزایش تارهای کشنده و افزایش جذب مواد غذایی مؤثرند (Mirzakhani et al., 2010).

برخی از محققان، پایداری و یا افزایش عملکرد محصولات زراعی را در نتیجه اجرای کشاورزی حفاظتی گزارش کردند (Hansen et Rusinamhodzi et al., 2011; Ngwira et al., al., 2012; 2012). کشاورزی حفاظتی سه اصل مدیریتی را شامل حداقل به هم خوردگی خاک (شامل بدون خاک‌ورزی)، تناوب و نگهداری بقایای گیاهی حداقل ۳۰ درصد در سطح خاک در مزارع ارائه می‌دهد(Corsi FAO, 2016& Muminjanov, 2019;). محققان در بررسی گیاهان ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) اعلام کردند که با افزایش هر نیم درصد کربن آلی خاک، عملکرد ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و بهترین عملکرد دانه در خاک‌هایی با ماده آلی یک تا دو درصد اتفاق می‌افتد (Oldfield et al., 2019). کشت مستقیم باعث بهبود ظرفیت حفظ و ذخیره آب خاک، افزایش میزان فتوسنتز خالص، افزایش کارایی مصرف آب انتقالی در گیاه و تجمع ماده خشک گردید که باعث افزایش عملکرد در گندم (Hemmat & Eskandari., 2006; Piggin et al., 2015; wang et al., 2015 ; Chaieb et al., 2020) و نخود (Kaschuk Piggin et al., 2015 et al., 2010;) شد. بیشترین میزان کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استخراج خاک در کشت مستقیم نسبت به سایر انواع خاک‌ورزی گزارش شده است (Shiwakoti et al., 2019). افزایش اندازه گره‌های ریشه را بر روی گیاه بادام زمینی که در تیمارهای کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی قرار داشتند، نسبت به کاشت مرسوم گزارش شده است (Rowland et al., 2015). محققان اعلام کردند که کشت بدون شخم موجب حفظ رطوبت و تأمین آب قابل دسترس بیشتر برای گیاه می‌شود (Sapkota et al., 2014) و کشت بدون شخم نسبت به دیگر نظام‌های خاک‌ورزی، بیشترین رطوبت را در خاک دارد (Safari et al., 2014; Lampurlanes et al., 2016).

یکی از نشانه‌های وضعیت آب خاک محتوای نسبی آب گیاه (RWC[1]) است که به‌عنوان شاخص مهمی در تنش خشکی در برگ اندازه‌گیری می‌شود و رابطه مستقیمی با رطوبت خاک دارد (Sarker et al., 1999; Merah, 2001). بالا بودن محتوای نسبی آب در شرایط کم‌آبی می‌تواند با رفتار روزنه‌ها و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد، زیرا حفظ محتوای رطوبتی درونی گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق و کارا در جهت جذب آب دارد (Saglam et al., 2008). از نشانه‌های تنش کم‌آبی در گیاه می‌توان به تغییرات میزان آب نسبی برگ، فلورسنس کلروفیل[2] و تجمع پرولین اشاره کرد (Farshadfar & Mohammadi., 2003). تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه باعث کاهش محتوای کلروفیل، سرعت فتوسنتز و افزایش دمای برگ می‌شود (Hirayama et al., 2006).

کاهش آب خاک و تنش خشکی باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن دارای سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) کارآمد هستند (Anjum et al., 2011a, 2011b). آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD[3])، پراکسیداز (POD[4])، کاتالاز (CAT[5])، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و آنتی‌اکسیدانت‌های غیر آنزیمی مانند آسکوربیک اسید (ویتامین C)، گلوتاتیون، آلفاتوکوفرول (ویتامین E)، کارتونوئیدها و فلانوئیدها می‌باشند که همگی در جهت کاهش اثرات تنش اکسیداتیو عمل می‌کنند (Gill & Tuteja, 2010).

همزیستی قارچ‌های مایکوریزایی با ریشه، گیاهان میزبان را قادر

1- Relative water content
2- Chlorophyll fluorescence
3- Superoxide dismutase
4- Peroxidase
5- Catalase

به تحمل تنش خشکی می‌کند که می‌تواند نقش اساسی در بهبود تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Al-Karaki et al., 2004). محققان نشان دادند که احتمالاً همزیستی مایکوریزایی از طریق ایجاد تغییرات در مورفولوژی و طویل کردن سیستم ریشه گیاهان میزبان و افزایش سطح تماس از طریق میسیلیوم‌های قارچ، حجم آب بیشتری جذب کرده که موجب بهبود روابط آبی گیاه می‌شود (Auge et al., 2015). رابطه همزیستی بین قارچ مایکوریزا و ریشه گیاهان عالی به صورت قابل توجهی به تغذیه و رشد گیاه کمک می‌کند، همچنین باعث افزایش آب نسبی برگ (RWC) و پروتئین برگ‌ها می‌شود (Auge, 2001). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کشت بدون شخم به‌صورت معنی‌داری منجر به افزایش تراکم قارچ‌های مایکوریزا در خاک نسبت به شخم متداول می‌شود (Thierfelder & Wall, 2010).

مطالعات در مورد نقش شاخص سطح برگ (LAI[1]) و فتوسنتز خالص (NAR[2]) در تجمع ماده خشک ممکن است پایه‌ای علمی برای دستیابی به عملکرد بالا از طریق تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان باشد (Qiu et al., 2017). افزایش شاخص سطح برگ (LAI)، دوام سطح برگ (LAD[3]) و افزایش ماده خشک دانه در گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک‌ورزی مشاهده شده است (Wasaya et al., 2017). محققان کاهش سطح برگ در تنش رطوبتی را اعلام کردند (Amiri Deh Ahmadi et al., 2010). از مهم ترین دلایل احتمالی کاهش شاخص سطح برگ، کاهش فتوسنتز بر اثر تنش خشکی است (Tesfaye et al., 2006). محتوای کلروفیل برگ شاخصی کلیدی در جهت ظرفیت فتوسنتزی گیاهان است (Houborg et al., 2015Cannella et al., 2016 ;). فیورنتینی و همکاران (Fiorentini et al., 2019) در آزمایشات خود اختلاف معنی‌داری بین میزان غلظت کلروفیل برگ‌ها و انواع خاک-ورزی مشاهده کردند، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل برگ در گیاهان تحت کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کشت کم‌خاک-ورزی و کشت مرسوم بود.

یکی از پارامترهای مهم جهت تشخیص وضعیت تنش درگیاهان اختلاف دمای تاج‌پوشش گیاهی با محیط و سنجش کلروفیل است. مقایسه تغییرات دمای تاج‌پوشش نسبت به دمای هوا امکان تشخیص ژنوتیپ‌های مختلف در جهت ارتقای ژنتیکی غلات برای محدودیت‌های کمبود آب را فراهم می‌سازد (Blum et al., 1998). محققان همچنین با سنجش کلروفیل فلورسانس در جهت مطالعه تنش‌های گیاهان (Guidi & Calatayud, 2014) مانند تنش خشکی (Zivcak et al., 2013Flexas et al., 2002 ;) و تنش گرمایی (Brestic et al., 2012Kalaji et al., 2011 ;) استفاده می کنند. تحقیقات در یک آزمایش چهار ساله بر روی گیاه نخود، بهبود عملکرد دانه را در کشت مستقیم (No-tillage) نسبت به کشت مرسوم نشان دادند (Piggin et al., 2015). همچنین، محققان افزایش میزان نیتروژن در قسمت‌های مختلف گیاه نخود کشت شده در سیستم کاشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم را گزارش کردند (Torabian et al., 2019). در این آزمایش، تأثیرات انواع خاک‌ورزی بر صفات مورفو- فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد و کیفیت علوفه گیاه ماشک در جهت حفاظت از خاک و انتخاب بهترین روش کاشت مورد ارزیابی قرار گرفت. به عبارت دیگر، تغییرات احتمالی در شرایط رطوبتی گیاه به‌وسیله کاهش عملیات خاک‌ورزی به‌ویژه کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی و اثرگذاری آن‌ها بر روابط آبی، عملکرد و کیفیت علوفه با توجه به شرایط مورفو- فیزیولوژیکی گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در این بررسی، اثرات روش‌های کم خاک‌ورزی، بدون‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در گیاه ماشک دیم و در تناوب با گندم (داده‌ها نشان داده نشده است) مورد مطالعه قرار گرفت و در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سارال واقع در ۵۵ کیلومتری شمال شهرستان سنندج در استان کردستان با مشخصات جغرافیایی ″۹ ′۴۰ °۳۵ شمالی و ″۴۵ ′۷ °۴۷ شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۱۰۰ متر به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸- ۱۳۹۶) انجام شد. با توجه به اینکه رسیدن به نتایج قابل قبول مورفو- فیزیولوژیکی در گیاهان و بهبود شرایط خاک در انجام خاک‌ورزی‌های کاهشی، نیازمند سپری شدن پروسه زمانی حداقل سه تا چهار ساله است (Qingjiea et al., 2014) این آزمایش در ادامه تحقیقی چهار ساله در ایستگاه سارال به‌صورت مستقل از آن و محدود به بررسی خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی و کیفیت علوفه گیاه ماشک از ابتدای سال سوم تحقیق فوق شروع و به‌مدت دو سال

1- Leaf area index
2- Net assimilation rate
3- Leaf area duration

زراعی انجام شد. تاریخ کاشت در دوسال آزمایش بـه‌ترتیـب ۲۶ مهـر ۱۳۹۶و ۱۷ مهر ۱۳۹۷و محصول سال قبل از آزمایش گندم بود که در سه سال گذشته به‌طور متناوب با ماشک کشت شده بود. در کم‌خاک-ورزی، بعد از برداشت محصول گندم سال قبل در تابستان از دسـتگاه خاک‌ورز (مدل دلتا- ۵ ساخت شـرکت سـازه کشـت کـاوه – ایـران) استفاده شد، در کشت مستقیم بدون انجام هیچ گونـه عملیـات تهیـه زمین، بعد از کشت محصول و در بهار سال بعد به‌صورت شیمیایی بـا سم لنتاگران (pyridate 2 Lit.ha^{-1}) و سوپر گالانت (0.7 Lit.ha^{-1}) با علف‌های هرز مبارزه گردید. در روش مرسوم، عملیـات خـاک‌ورزی سنتی معمول در منطقه شامل شخم با گاوآهن برگـردان‌دار و دیسـک متقاطع ساخت ایران انجام شد. در کلیه تیمارهای خاک‌ورزی کاشت با کارنده مدل ASKE-2200 ساخت شرکت سازه کشـت کـاوه بوکـان کشور ایران انجام شد.

میزان کود و رقم ماشک: در این آزمایش از رقم ماشک گـل سفید با تیپ رشدی پاییزه مخصوص مناطق سردسیر استفاده شد کـه بذر آن از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی کردستان تهیـه گردیـد. در هر دو سال آزمایش، میزان بذر مصرفی ۱۲۰ کیلوگرم در هکتـار و کاشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر صـورت گرفـت. بعـد از آزمـایش خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، نوع خاک با خصوصیات بافت لومی، میزان فسفر قابـل جـذب (۷/۳ mg.kg^{-1})، درصـد مـاده آلـی (۰/۶۲)، درصد نیتروژن (۰/۰۷) و هدایت الکتریکی (۰/۳۷۵ دسی زیمـنس بـر متر) مشخص شد. به‌منظور تأمین نیاز غذایی گیاه با توجه به آزمـایش خاک، میزان ۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره و ۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار به هنگام کاشت استفاده شد.

زمان نمونه‌برداری‌ها: تمام نمونه‌برداری‌های مربوط به تعـداد گره ریزوبیـومی، محتـوای نسـبی آب بـرگ، شـاخص سـطح بـرگ، کلروفیل و کاروتنوئید، فلورسانس کلروفیل، دمای تاج‌پوشش، آنزیم‌ها، پرولین، پراکسید هیدروژن، مالون د آلدئیـد، پـروتئین و کربوهیـدرات-های محلول برگ، عناصـر بـرگ و کیفیـت علوفـه در مرحلـه اوایـل پرشدن دانه (اول تیـر ۱۳۹۷و ۱۳۹۸ معـادل ۹۹۰ GDD[1] و ۲۴۸ روز پس از کاشت در سال اول و ۹۵۳ GDD و ۲۵۷ روز پس از کاشت در سال دوم) صورت گرفت.

عملکرد و ارتفاع گیاه: بـرای تعیـین عملکـرد دانـه، عملکـرد بیولوژیک و شاخص برداشت در زمان رسیدگی فیزیولوژیـک (۱۷ تیـر ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، ۱۲۹۳ GDD و ۲۶۴ روز پس از کاشت در سال اول و ۱۲۴۹ GDD و ۲۷۳ روز پس از کاشت در سال دوم) با در نظر گرفتن حذف اثرات حاشیه از قسمت‌های میانی هر واحـد آزمایشـی مسـاحت سه مترمربع برداشت شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع در مرحله رسـیدگی فیزیولوژیک، ۱۵ بوته ماشک به‌طور تصـادفی از هـر واحـد آزمایشـی انتخاب و با متر دقیق ارتفاع از سطح خـاک تـا بـالاترین نقطـه گیـاه مشخص گردید (Mafakheri et al., 2010).

صفات فیزیولوژیک:

محتوای نسبی آب برگ (RWC[2]) : پس از انتخـاب تعـداد ۲۰ برگ هم‌اندازه و کاملاً توسعه‌یافته با توجه به معادله زیر تعیین شد (Sairam et al., 2002).

معادله (۱)

٪RWC = ((وزن تر – وزن خشک)/(وزن تورژسانس – وزن خشک)) ×۱۰۰

شاخص سطح برگ (LAI) و سطح ویژه برگ (SLA[3]):

جهت تعین شاخص سطح برگ، تعداد ۱۰ بوته هم اندازه از هـر واحـد آزمایشی انتخاب شد و پس از حمل به آزمایشگاه، مساحت برگ‌ها بـا دستگاه سطح برگ‌سـنج مـدل دلتـا تـی (Delta-T) سـاخت کشـور انگلستان اندازه‌گیری و پس از قرار دادن در آون به‌مدت ۴۸ سـاعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک نیز جهـت انـدازه‌گیری سـطح ویژه برگ محاسبه شد (Ramamoorthy et al., 2016).

کلروفیل و کاروتنوئید: با توجه به روش ولبورن (Wellburn, 1994) و ژیو و همکاران (Xu et al., 2019) پس از انتخاب تصادفی برگ‌های توسعه‌یافتـه و قـرار دادن در نیتـروژن مـایع، بـا اسـتفاده از استون ۸۰ درصد عصاره برگ استخراج و میزان کلروفیل‌های a و b و کل همچنین کاروتنوئید توسط دستگاه اسـپکتوفتومتر مـدل Spekol 2000 ساخت شرکت Analytic Jena کشور آلمان اندازه‌گیری شد.

کلروفیل فلورسانس[4]: تمام پارامترهای کلروفیـل فلورسـانس شامل فلورسانس اولیه، حـداکثر و کـارایی کوانتـومی توسـط دسـتگاه جیبی مدل miniPPM-300 ساخت شرکت EARS کشور هلنـد بـه

1- Growing degree days

2- Relative water content
3- Specific leaf area
4 Chlorophyll fluorescence

روش زیواک و همکاران (Zivcak et al., 2013) با کمی تغییر که در اوایل شب بخاطر تطابق با تاریکی و ساعت ۱۰ صبح (روز) اندازه‌گیری شد.

معادله (۲)

Fm, Fm'= maximal level of fluorescence in the dark and light-adapted state

معادله (۳)

F0, F0' = minimal level of fluorescence in the dark and light-adapted state

معادله (۴) Fv, Fv'= variable fluorescence

معادله (۵)

(Fv/Fm) = (Fm-Fo)/Fm = Maximum photochemical quantum yield of PSII in the dark-adapted (Night)

معادله (۶)

(Fv'/Fm') = (Fm'-Fo')/Fm' =Maximum photochemical quantum yield of PSII in the light-adapted (Day)

دمای تاج‌پوشش (CTD[1]): برای تعیین دمای تاج‌پوشش از دماسنج مادون قرمز مدل Kiray100 ساخت شرکت KIMO کشور فرانسه استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در ظهر خورشیدی انجام و به‌منظور به حداقل رساندن تأثیر زاویه خورشید، جهت رو به جنوب انتخاب شد، همزمان از دماسنج معمولی برای اندازه‌گیری درجه حرارت محیط استفاده شد. تفاوت درجه حرارت محیط و تاج‌پوشش به‌عنوان CTD منظور گردید (Reynolds et al., 2007).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

تهیه محلول آنزیمی:

پس از ساییدن برگ‌ها در نیتروژن مایع، در ۵۰ میلی مولار بافر فسفات سدیم[2] (pH=۷) حاوی دو میلی مولار EDTA و پنج میلی مول مرکاپتو اتانول[3] و چهار درصد (w/v) پلی وینیل پیرولیدون[4]–۴۰ (PVP-40) همگن شد. مواد مذکور به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۲۰۰۰۰ دور و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل 3K30 ساخت شرکت Sigma، آلمان) شد. از مایع رویی برای ارزیابی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (SOD,POX, CAT) استفاده شد.

کاتالاز: برای اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز توسط بافر فسفات سدیم و واکنش به تغییرات پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Spekol 2000 ساخت شرکت analytic jena کشور آلمان استفاده شد (Aebi, 1984).

پراکسیداز: برای اندازه‌گیری آنزیم پراکسیداز با استفاده از بافر فسفات سدیم و گویکول با توجه به تغییرات آنزیمی با وجود پراکسید هیدروژن به‌عنوان پذیرنده الکترون در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دقیقه توسط دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد (MacAdam et al., 1992).

سوپر اکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Dhindsa et al., 1981) بر اساس بازدارندگی از احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم (NBT) و در طول موج ۵۶۰ نانومتر ارزیابی شد.

پراکسید هیدروژن[5] (H_2O_2): اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌روش لورتو و ولیکوا (Loreto & Velikova, 2001) انجام شد. به این منظور، ۰/۵ گرم نمونه برگ را به همراه نیتروژن مایع در ظرف کوبیده و با پنج میلی لیتر تری‌کلرو استیک اسید[6] (TCA) یک درصد مخلوط گردید، سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰۰۰ دور سانتریفوژ شدند. در ادامه، ۰/۷۵ میلی لیتر از مایع رویی با ۰/۷۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی مولار (pH=۷) و یک میلی لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم (KI) مخلوط شد. غلظت پراکسید هیدروژن نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر با کمک منحنی استاندارد محاسبه شد.

پرولین: به‌منظور اندازه‌گیری محتوی پرولین، ۰/۵ گرم نمونه برگ تازه را در آون کوبیده و با اسید سولفوسالیسیلیک مایع سه درصد (w/v) هموژن شد، سپس با استفاده از معرف نین هیدرین[7]، غلظت پرولین محلول در تولوئن مایع توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bates et al., 1973).

مالون د آلدئید[8] (MDA): برای اندازه‌گیری میزان مالون د آلدئید از روش ژانگ و کیو (Zhang & Qiu, 2004) شد. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه‌های منجمد را در نیتروژن مایع خرد شد و پنج میلی‌لیتر

1- Canopy temperature depression
2- Sodium phosphate buffer
3- Mercaptoethanol
4- Polyvinylpyrrolidone -40

5- Hydrogen peroxide
6- trichloroacetic acid
7 ninhydrin
8- Malondialdehyde

محلول تریکلرواستیک اسید (TCA) یک درصد اضافه و مخلوط گردید سپس به‌مدت پنج دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور در سانتریفیوژ (مدل 3K30 ساخت شرکت Sigma، آلمان) قرار داده شد. سپس به دو میلی لیتر محلول سانتریفیوژ شده، مقدار دو میلی لیتر محلول اسید تیوباربیتوریک[1] (TBA) نیم درصد اضافه شد و محلول به‌دست آمده را به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب داغ (بن ماری) ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، بعد از آن به‌منظور توقف واکنش محلول را به‌سرعت به حمام آب یخ (آب دارای یخ صفر درجه) انتقال یافت و محلول سرد شده را به‌مدت ۱۰ دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. در نهایت، نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان مالون د آلدئید بر اساس فرمول ذیل و به‌صورت $nmol.g^{-1}$ FW محاسبه شد:

معادله (۷)

$$MDA= 6.45 \times (A532 - A600) - 0.56 \times A450$$

پروتئین محلول برگ: برای اندازه‌گیری پروتئین‌های محلول برگ ۱۰ میکرولیتر از نمونه آزمایشی (عصاره) با ۹۹۰ میکرولیتر از محلول بردفورد را به‌آرامی مخلوط کرده، سپس توسط دستگاه اسپکتوفتومتر میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید (Bradford, 1976).

کربوهیدارت محلول: پس از نمونه‌برداری برگ‌ها در مرحله اوایل پرشدن دانه، میزان کربوهیدرات محلول در آب و الکل بر اساس روش دوبویس و همکاران (Dubois et al., 1956) اندازه‌گیری شد.

فسفر برگ: برای تعیین غلظت فسفر برگ از روش زرد مولیبدات- وانادات (Kitson & Mellon, 1944) پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و استفاده از اسید کلریدریک یک مولار عصاره مورد نیاز تهیه و پس از صاف کردن در طول موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

نیتروژن برگ و دانه: جهت اندازه‌گیری میزان نیتروژن برگ (اوایل پرشدن دانه) و دانه (رسیدگی کامل) از روش کجلدال (Kjeldahl, 1883) استفاده شد. میزان پروتئین دانه نیز از حاصل ضرب نیتروژن هر نمونه در ۵/۷ تعیین شد (Owusu-Apenten, 2002).

معادله (۸) ۵/۷ × درصد نیتروژن = پروتئین دانه (٪)

کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و گره ریزوبیومی: در مرحله اوایل پرشدن دانه پس از انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت و قرار دادن در آب به‌مدت پنج ساعت جهت پاکسازی بهتر ریشه از خاک و شستشوی آن، ریشه‌ها توسط محلول ۱۰ درصد KOH رنگ بری شده و به‌روش جوهر و سرکه (Vierheilig et al., 1998) ریشه‌ها رنگ‌آمیزی و درصد کلونیزاسیون به‌روش خطوط مشبک (Giovannetti & Mosse, 1980) تعیین شد. در زمان رسیدگی کامل برای تعیین میزان اسپوریزاسیون قارچ، از هرکرت به‌طور تصادفی خاک مجاور ریشه ۱۰ بوته تا عمق ۳۰ سانتی‌متر به‌عنوان نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن، ۱۰ گرم از آن جهت جداسازی اسپور به‌روش استفاده از الک و ساکاروز (Brundrett et al., 1994Jiang et al., 2018 ;) انتخاب، سپس توسط میکروسکوپ الیمپوس مدل IX51 ساخت کشور ژاپن تعداد اسپورها شمارش شد. برای تعیین تعداد گره‌های ریزوبیومی در مرحله اوایل پرشدن دانه، تعداد شش بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد گره‌ها بر روی ریشه شمارش و میانگین آن‌ها منظور گردید (Erman et al., 2011).

تعیین پارامترهای کیفیت علوفه: به‌منظور دستیابی به حداکثر تغییرات احتمالی در پارامترهای کیفیت علوفه بر اثر انواع خاک‌ورزی این صفت در سال آخر آزمایش به‌صورت یک ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله اوایل پرشدن دانه، پس از انتخاب تصادفی پنج بوته از هر کرت و قرار دادن کل قسمت‌های هوایی در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه کاملاً خشک، سپس توسط آسیاب کاملاً پودر و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور جهت تعیین پارامترهای کیفیت علوفه با دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک (NIR[2]) مدل انفراماتیک ۸۶۲۰ انتقال و اندازه‌گیری شد. کالیبره کردن دستگاه به‌روش جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) انجام گردید.

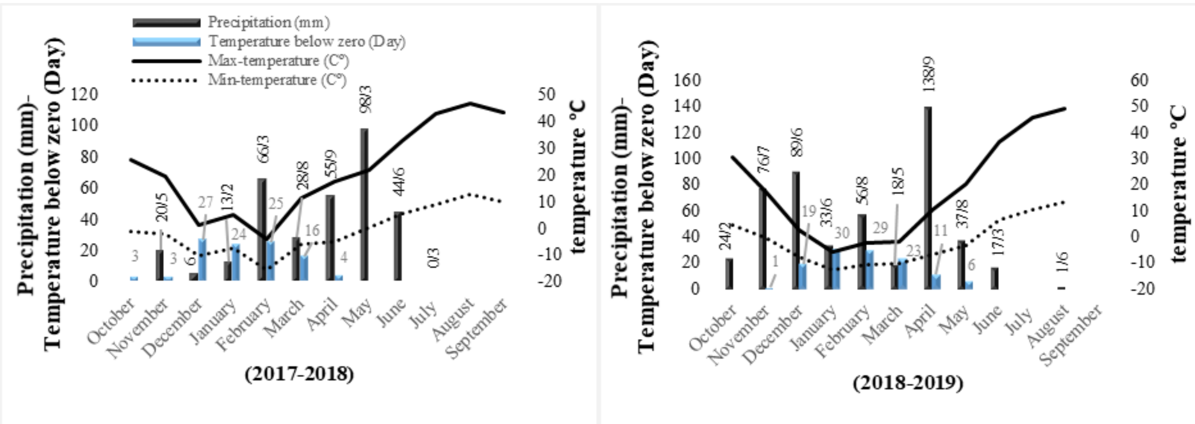
تحلیل آماری: تجزیه واریانس مرکب (دو ساله) داده‌ها و پارامترهای تعیین کیفیت علوفه (یک ساله) با استفاده از نرم‌افزار SAS و توسط مدل خطی عمومی (GLM) صورت گرفت. مقادیر میانگین‌ها با آزمون دانکن ($P \geq ۰/۰۵$) مقایسه شدند. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم و ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مرتبط و مقادیر معنی‌دار آن‌ها تعیین شد.

1- Thiobarbituric acid

2- Near infrared reflecrtance spectroscopy

نتایج و بحث

با توجه به جداول تجزیه واریانس مرکب (جداول ۱، ۲، ۳ و ۴) اثر خاک‌ورزی بر صفات عملکرد، شاخص برداشت، ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب برگ، اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ، میزان کلروفیل و کاروتنوئید، کلروفیل فلورسانس، آنزیم‌ها، مالون د آلدئید، پراکسید هیدروژن، پرولین، پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، عناصر فسفر و نیتروژن برگ، نیتروژن دانه، پروتئین خام دانه، کلونیزاسیون و اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و تعدادگره‌های ریزوبیومی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهنده تفاوت اثر انواع خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم بر صفات می‌باشد.



شکل ۱- داده های دوساله هواشناسی (۱۳۹۸-۱۳۹۶) در محل آزمایش

Fig. 1- Meteorological data during two growing seasons (2017-2019) in experiment station

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات مرتبط با عملکرد و ارتفاع گیاه ماشک

Table 1- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on traits related to yield and plant height of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت HI
سال Year	1	7620608**	670868**	848.7**	17923.5**	532856**	1.95ns
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	40660.6	7700.8	0.9	59.5	5999.3	0.75
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	3388249.5**	347858.7**	122.5**	94169.3**	793884.2**	67.5**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	44294ns	3993.7ns	1.04ns	269.3ns	6690.8ns	0.36ns
خطا Error	8	12490.5	1299	2.08	636.2	1489.4	1.06
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		1.97	2.04	2.96	8.1	1.81	7.2

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ماشک

Table 2- Combined (2-year data) analysis of variance goes to Effect of different tillage treatments on some physiological traits of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	CTD	LAI	SLA	کلروفیل a Chloro-phyll a	کلروفیل b Chloro-phyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	Fv/Fm	Fv'/Fm'
سال Year	1	0.11**	1.71**	0.005**	0.071**	0.006**	0.136**	0.0006**	42.09**	9.23**
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.04	0.15	0.00000006	0.0048	0.0006	0.0097	0.00019	0.27	0.47
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	5.08**	3.62**	0.00003**	0.67**	0.032**	1.04**	0.01**	47.32**	199/21**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.008ns	0.001ns	0.00000006ns	0.0049ns	0.0002ns	0.0005ns	0.00006ns	2.28ns	1.07ns
خطا Error	8	0.01	0.019	0.00000006	0.0028	0.0001	0.004	0.00003	0.56	0.91
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4.99	5.2	1.94	3.37	4.06	3.34	2.36	0.98	2.07

LAI: شاخص سطح برگ، SLA: سطح ویژه برگ، CTD: اختلاف دمای تاج‌پوشش، Fv/Fm; Fv'/Fm': کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و روز

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

CTD: Canopy temperature depression, LAI: leaf area index, SLA: Specific leaf area, Fv/Fm; Fv'/Fm': photosynthetic efficiency Night-Day

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر محتوای نسبی آب برگ- محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی، پروتئین محلول و کربوهیدرات برگ در گیاه ماشک

Table 3- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on Relative water content, enzymatic and non-enzymatic activity and leaf Protein and carbohydrates in *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	RWC	CAT	SOD	POD	MDA	H_2O_2	پرولین Proline	پروتئن محلول Leaf soluble protein	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrates
سال Year	1	5.8ns	0.00012**	0.016**	0.157**	5098.21**	0.153**	0.073**	0.047**	0.028**
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.344	0.000004	0.0003	0.001	17.46	0.001	0.001	0.00007	0.00004
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	224.39**	0.00043**	0.054**	0.278**	8080.56**	0.528**	0.79**	0.096**	0.05**
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.062ns	0.0000003ns	0.000019ns	0.002ns	43.05ns	0.003ns	0.003ns	0.0007ns	0.0009ns
خطا Error	8	1.64	0.000009	0.0012	0.009	1040.25	0.005	0.001	0.0006	0.0003
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		2	4.81	5.05	7.75	4.15	5.8	3.97	3.42	5.87

RWC: محتوای نسبی آب برگ، CAT: کاتالاز، SOD: سوپر اکسید دیسموتاز، POD: پروکسیداز، MDA: مالون د آلدئید، H_2O_2: پراکسید هیدروژن

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

RWC: Relative water content, CAT: Catalase, SOD:superoxide dismutase, POD: peroxidase, MDA: Malondialdehyde, H_2O_2: Hydrogen peroxide

* and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ٤- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر قارچ مایکوریزا، گره‌های ریزوبیوم، عناصربرگ و دانه گیاه ماشک

Table 4- Combined (2-year data) analysis of variance goes to effect of different tillage treatments on mycorrhiza fungi, rhizobia nodes, leaf and seeds elements of *Pannonica vetch*

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نیتروژن برگ Leaf N	فسفر برگ Leaf P	نیتروژن دانه Grain N	پروتئین دانه Grain protein	کلونیزاسیون colonization	تعداد اسپور قارچ Number of Spores	گره‌های ریزوبیوم Number of rhizobium nodes
سال Year	1	0.68^{**}	0.02^{**}	1.25^{**}	42.04^{**}	3.55^{ns}	76.05^{ns}	2.72^{ns}
بلوک (سال) Block (year) (Y)	4	0.008	0.0004	0.0007	0.03	1.88	59.55	3.05
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	0.79^{**}	0.022^{**}	0.131^{**}	$0.4.0^{**}$	615.05^{**}	26745.05^{**}	154.38^{**}
سال × خاک‌ورزی Y × T	2	0.0003^{ns}	0.00008^{ns}	0.0007^{ns}	0.005^{ns}	0.72^{ns}	37.38^{ns}	1.05^{ns}
خطا Error	8	0.023	0.0002	0.0006	0.018	3.22	80.3	3.05
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		5.52	3.83	0.7	0.67	9.1	7.98	7.36

N: نیتروژن برگ، N: فسفر برگ، ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

N: Nitrogen, N: phosphorus ; * and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات مرتبط با عملکرد و ارتفاع گیاه ماشک

Table 5- Comparison of the 2-year average of traits related to yield and Plant height of *Pannonica vetch*

		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکردعلوفه خشک Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biologic yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت HI
خاک‌ورزی Tillage	NT	6464.3^{a}	2013.8^{a}	53.6^{a}	446.6^{a}	2509.8^{a}	17.7^{a}
	RT	5482.3^{b}	1738.6^{b}	47.7^{b}	287.5^{b}	2080.8^{b}	13.6^{b}
	CT	4988^{c}	1533.3^{c}	44.8^{c}	199.5^{c}	1786.5^{c}	11.1^{c}
سال آزمایش Years	2018	6295.5^{a}	1955^{a}	55.5^{a}	342.7^{a}	2297.7^{a}	14.5^{a}
	2019	4994.2^{b}	1568^{b}	41.8^{b}	279.6^{b}	1553.6^{b}	13.9^{a}

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan’s range test at P = 0.05

جدول ٦- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر صفات فیزیولوژیک گیاه ماشک

Table 6- Comparison 2-year average of some physiological treatments of *pannonica vetch*

		CTD (°C)	LAI (m^2)	SLA ($m^2.g^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیلb Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ FW)	کلرفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئید Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)	Fv/Fm (%)	Fv'/Fm' (%)
خاک‌ورزی Tillage	NT	3.06^{a}	3.5^{a}	0.0145^{a}	1.92^{a}	0.39^{a}	2.33^{a}	0.29^{a}	78.48^{a}	52^{a}
	RT	1.83^{b}	2.5^{b}	0.0115^{b}	1.54^{b}	0.3^{b}	1.86^{b}	0.23^{b}	75.63^{b}	45.18^{b}
	CT	1.26^{c}	2^{b}	0.0103^{b}	1.26^{c}	0.24^{c}	1.5^{c}	0.21^{c}	72.86^{c}	40.53^{c}
سال آزمایش Years	2018	2.13^{a}	3.01^{a}	0.0126^{a}	1.64^{a}	0.33^{a}	1.98^{a}	0.25^{a}	77.18^{a}	46.62^{a}
	2019	1.97^{a}	2.39^{b}	0.0115^{b}	1.51^{b}	0.29^{b}	1.81^{b}	0.24^{a}	74.13^{b}	45.18^{b}

LAI: شاخص سطح برگ، SLA: سطح ویژه برگ، CTD: اختلاف دمای تاج‌پوشش، Fv/Fm; Fv'/Fm': کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و روز، NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

CTD: Canopy temperature depression, LAI: leaf area index, SLA: Specific leaf area, Fv/Fm; Fv'/Fm': photosynthetic efficiency Night- Day; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan’s range test at P = 0.05

جدول ۷- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر محتوای نسبی آب برگ- محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی، پروتئین محلول و کربوهیدرات برگ در گیاه ماشک

Table 7- Comparison 2-year average of relative water content, enzymatic and non-enzymatic activity and leaf protein and carbohydrates in pannonica vetch

		RWC (%)	CAT (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	SOD (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	POD (Units.mg^{-1} protein.min^{-1})	MDA (nmol.g^{-1} FW)	H_2O_2 (mmol. g^{-1} FW)	پرولین Proline (µmol.g^{-1} FW)	پروتئین محلول Leaf soluble protein (mg.g^{-1} FW)	کربوهیدرات محلول Leaf soluble carbohydrates (mg.g^{-1} DW)
خاک‌ورزی Tillage	NT	70.78^a	0.056^c	0.58^c	1^c	205.32^c	0.96^c	0.6^c	0.91^a	0.4^a
	RT	62.67^b	0.066^b	0.7^b	1.3^b	254.74^b	1.32^b	0.81^b	0.72^b	0.29^b
	CT	58.8^c	0.073^a	0.77^a	1.43^a	277.02^a	1.55^a	1.31^a	0.66^c	0.22^c
سال آزمایش Years	2018	64.65^a	0.063^b	0.65^b	1.13^b	228.8^b	1.18^b	0.84^b	0.81^a	0.34^a
	2019	6.52^b	0.068^a	0.7^a	1.32^a	265.5^a	1.36^a	0.97^a	0.71^b	0.26^b

RWC: محتوای نسبی آب برگ، CAT: کاتالاز، SOD: سوپر اکسید دیسموتاز، POD: پروکسیداز، MDA: مالون د آلدئید، H_2O_2: پراکسید هیدروژن، NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

RWC: Relative water content, CAT: Catalase, SOD:superoxide dismutase, POD: peroxidase, MDA: Malondialdehyde, H_2O_2: Hydrogen peroxide; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ۸- مقایسه میانگین دو ساله اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر قارچ مایکوریزا، گره‌های ریزوبیوم، عناصر برگ و دانه گیاه ماشک

Table 8- Comparison 2-year average of mycorrhiza fungi, rhizobia nodes, leaf and seeds elements of pannonica vetch

		نیتروژن برگ Leaf N (%)	فسفر برگ Leaf P (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	پروتیین خام دانه Grain crude protein (%)	کلونیزاسیون Colonization (%)	تعداد اسپور قارچ Number of spores No, per 10g Soil	گره ریزوبیوم Number of rhizobium nodes No, per Plant
خاک‌ورزی Tillage	NT	3.16^a	0.49^a	3.72^a	21.23^a	30.16^a	179.83^a	12.16^a
	RT	2.64^b	0.41^b	3.51^b	19.98^b	18.5^b	110.66^b	4.33^b
	CT	2.47^b	0.37^c	3.44^c	19.69^c	10^c	46.33^c	2.66^b
سال آزمایش Years	2018	2.95^a	0.46^a	3.82^a	21.83^a	20^a	114.33^a	6.7^a
	2019	2.56^b	0.39^b	3.29^b	18.77^b	19.11^a	110.22^a	6^a

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

جدول ۹- تجزیه واریانس یک ساله (سال آخر) اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه گیاه ماشک

Table 9- Analysis of annual variance (last year) goes to effect of different tillage treatments on forage quality of pannonica vetch

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	CP	DMD	WSC	ADF	ASH	CF	NDF
بلوک Block	2	0.32*	0.34^{ns}	0.11^{ns}	0.058^{ns}	0.058^{ns}	5.21*	0.21^{ns}
خاک‌ورزی Tillage	2	6.13**	20.25**	3.11**	25.62**	2.98*	43.19**	46.99**
خطا Error	4	0.04	0.26	0.02	0.25	0.33	0.31	0.47
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		0.98	0.84	5.4	1.41	5.5	1.8	1.2

CP: پروتئین خالص، DMD: هضم‌پذیری علوفه، WSC: پروتئین محلول آب، ADF: نامحلول در شوینده اسیدی، Ash: میزان خاکستر، CF: فیبر خام الیاف، NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی

ns، * و **: به‌ترتیب نشانه عدم معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج و یک درصد

CP: Crude protein, DMD: dry matter digestibility, WSC: water soluble carbonates, ADF: acid detergent fiber, CF: crude fiber, NDF: neutral detergent fiber, ASH: percentage of ash; * and **, respectively, 5% and 1% level of significance, ns is not significant

جدول ۱۰- مقایسه میانگین یک ساله (سال آخر) اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه گیاه ماشک

Table 10- Comparison of annual average (last year) of the effect of different tillage treatments on forage quality of vetch

		CP	DMD	WSC	ADF	ASH	CF	NDF
		(%)						
خاک‌ورزی Tillage	NT	22.2[a]	64[a]	3.8[a]	32.2[c]	11.6[a]	26.7[c]	52.7[c]
	RT	20.2[b]	60.4[b]	2.3[b]	36[b]	10[b]	31[b]	57.7[b]
	CT	19.4[c]	59[c]	1.8[c]	38[a]	9.8[b]	34.3[a]	60.5[a]

CP: پروتئین خالص، DMD: هضم‌پذیری علوفه، WSC: پروتئین محلول آب، ADF: نامحلول در شوینده اسیدی، Ash: میزان خاکستر، CF: فیبر خام الیاف، NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی

NT: کشت مستقیم، RT: کم‌خاک‌ورزی، CT: کشت مرسوم، در هرستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

CP: Crude protein, DMD: dry matter digestibility, WSC: water soluble carbonates, ADF: acid detergent fiber, CF: crude fiber, NDF: neutral detergent fiber, ASH: percentage of ash; NT: No-tillage, RT: Reduce tillage, CT: Customer tillage; Mean values followed by same letters in each column are not statistically different based on Duncan's range test at P = 0.05

با توجه به اختلاف شرایط آب و هوایی در سال‌های مورد آزمایش (شکل ۱) خصوصاً تعداد بالای روز یخبندان در اردیبهشت سال دوم (آوریل و می)، رشد گیاه و پارامترهای مورد اندازه‌گیری در سال اول نسبت به سال دوم، وضعیت بهتری داشتند. همچنین صفات کلونیزاسیون، اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا، تعداد گره‌های ریزوبیومی، محتوای نسبی آب برگ و شاخص برداشت در هر دو سال تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، امّا بقیه صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر سال قرار گرفتند (جداول ۱،۳،۴).

صفات عملکردی و ارتفاع گیاه

بیشترین عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه از کشت مستقیم به‌دست آمدند و کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم در رده‌های بعدی قرار داشتند، کمترین علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه در کشت مرسوم حاصل شد (جدول ۵). در این مطالعه، عملکرد علوفه خشک در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۴ و ۱۴ درصد نسبت به کشت مرسوم افزایش داشت. این افزایش برای عملکرد علوفه تر به‌ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد، و برای عملکرد دانه ۵۵ و ۳۶ درصد بود. عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و دانه در سال اول کاشت بیشتر از سال دوم بود (جدول ۵). همچنین، رابطه معنی‌داری (r=۰/۷۵*) بین میزان رطوبت نسبی برگ و علوفه خشک به‌دست آمد (شکل ۲- E). در همین رابطه پیگین و همکاران (Piggin et al., 2015) نیز بهبود عملکرد دانه را در کشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم مشاهده کردند و اعلام کردند که گیاهان زراعی لگوم انطباق‌پذیری مناسبی را در کشت مستقیم دارند و بیشترین عملکرد را نسبت به کشت مرسوم از خود نشان دادند. محققان دیگر نیز اعلام کردند که استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی به‌جای خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند باعث افزایش عملکرد محصول بین ۸ تا ۳۵ درصد و افزایش کارایی مصرف آب شود (Zhang et al., 2012) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. پژوهشگران در مطالعات خود در ایران، ۲۴ تا ۵۷ درصد افزایش عملکرد گیاه نخود را در کشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم گزارش کردند و دلیل افزایش معنی‌دار عملکرد در کشت مستقیم همراه با بقایای گیاهی نسبت به مرسوم را ذخیره و دسترسی بیشتر گیاهان به آب را بیان نمودند (Hemmat & Eskandari, 2004; 2006)، امّا سایر محققان افزایش عملکرد گندم را در کشت کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم اعلام کردند (Chaib et al 2020.).

کمترین ارتفاع در کشت مرسوم به‌دست آمد که کاهش ارتفاع ۲/۹ و ۸/۸ سانتی‌متری را به‌ترتیب نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشت (جدول ۵). در بررسی حاضر، گیاهان کاشته شده به روش کشت مستقیم به‌صورت معنی‌داری ارتفاع بیشتری نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشتند. از دلایل ارتفاع کمتر در تیمار کشت مرسوم می‌توان به کمبود آب گیاه، کاهش کلروفیل (Mafakheri et al., 2010) و کارایی فتوسیستم ۲ نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی اشاره کرد (جداول ۶ و ۷). همچنین، تغییرات ارتفاع گیاه در دو سال مورد آزمایش (جدول ۵) می تواند به‌دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی و وجود تعداد بیشتر روزهای یخبندان و درجه حرارت پایین در فصل بهار سال دوم باشد (شکل ۱). محققان دیگر نیز در آزمایش‌های خود، افزایش ارتفاع گیاهان کاشته شده در کشت مستقیم را نسبت به مرسوم مشاهده کردند (Borstlap & Entz., 1994). علاوه‌بر موارد مذکور، وجود قارچ مایکوریزا (جدول

۸) می‌تواند به‌واسطه افزایش جذب فسفر و عناصر غذایی از دلایل بیشتر بودن ارتفاع گیاه در تیمار بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی باشد. در این رابطه، سایر پژوهشگران نیز به نقش قارچهای مایکوریزا در تغذیه و رشد بهتر گیاهان اشاره کرده‌اند (Auge 2001; Auge et al., 2015) که با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه همخوانی دارد.

همزیستی قارچی و باکتریایی ریشه

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۸)، گیاه ماشک در کشت مستقیم دارای بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه، تعداد اسپور قارچ در ریزوسفر و تعداد گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه بود که اختلاف آماری معنی‌داری نیز با دو تیمار دیگر داشت، به‌طوری‌که این افزایش در کلونیزاسیون ۳۸/۶۶ و ۶۶/۸۴ درصد، اسپور قارچ ۳۸/۴۶ و ۷۳/۱۲ درصد و گره‌های ریزوبیوم ۶۴/۳۹ و ۷۸/۱۳ درصد به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم بود. به نظر می‌رسد که همزیستی مایکوریزایی و باکتریایی ریشه ماشک در هر دو سال آزمایش (جدول ۸) صرف نظر از شرایط آب و هوایی (شکل ۱) و با توجه به نیازهای آن‌ها بوده است. یکی از مهم‌ترین عوامل در جهت کمک به رشد گیاهان خانواده لگومینوز، همزیستی مثبت آن‌ها با انواع قارچها و باکتری‌های خاک می‌باشد (Torabian et al., 2019). در این تحقیق، کشت‌های مستقیم و کم‌خاک‌ورزی احتمالاً به‌دلیل عدم به هم خوردگی خاک درنتیجه عدم از دست رفتن ساختار میسیلوم-های قارچ مایکوریزا همچنین رشد مناسب همراه با تثبیت بهتر باکتری‌های ریزوبیوم موجب افزایش درصد همزیستی نیز گردید که باعث کمک به جذب بهتر آب و عناصر غذایی در گیاه ماشک شده است، امّا در خاک‌ورزی مرسوم به‌دلیل به هم خوردگی خاک و قرار گرفتن ریزجانداران در معرض نور خورشید گیاه توانایی استفاده کمتری از این همزیستی را داشته است (جدول ۸). در همین رابطه، روسنر و همکاران (Rosner et al., 2019) افزایش میزان کلونیزاسیون قارچهای مایکوریزا با ریشه گیاه نخود را در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کاشت مرسوم اعلام کردند. تأثیرات مثبت عدم خاک‌ورزی خاک بر جمعیت ریزجانداران خاک خصوصاً قارچهای مایکوریزا و باکتری‌های ریزوبیوم اعلام شده است (Torabian et al., 2019). قارچهای مایکوریزا با گسترش میسیلوم-های خود در جهت افزایش جذب آب و عناصر معدنی برای گیاه باعث بهبود وضعیت رشد گیاه شده، همچنین باعث افزایش جذب عناصر غذایی بیشتر از سطح بیشتری در اطراف ریشه می‌شوند (Auge et al., 2015; Auge, 2001). از مهم‌ترین عناصری که توسط میکوریزا به‌طور فعال در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است (Baum et al., 2015). در این مطالعه نیز همبستگی معنی‌داری بین کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با میزان فسفر برگ، فعالیت پراکسید هیدروژن و محتوای نسبی آب برگ (شکل ۲- B, G, H) مشاهده شد. در این آزمایش، با توجه به رشد بهتر قارچ مایکوریزا در کشت مستقیم و کم‌خاکورزی، شرایط مناسب تولید اسپور قارچ نیز که روش تولید مثل آن می‌باشد، در وضعیت مطلوب‌تری نسبت به کشت مرسوم قرار گرفته است. با توجه به نتایج (شکل ۲- F,I)، همبستگی بین تعداد گره‌های ریزوبیومی با میزان نیتروژن برگ ($r=۰/۷۷^*$) و پروتئین محلول برگ ($r=۰/۸۸^{**}$) به‌دست آمد. در همین راستا، ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2019) اعلام کردند که همزیستی باکتری‌های ریزوبیوم در جهت تثبت نیتروژن اتمسفر محیط و کمک به رشد گیاه نخود نقش بسیار مهمی دارد. ریتر و همکاران (Reiter et al., 2002) نیز اعلام کردند که کاهش خاک‌ورزی احتمالاً باعث افزایش تثبیت نیتروژن هوا در مقایسه با کشت مرسوم می‌شود. با توجه به افزایش معنی‌دار تعداد گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم (جدول ۸)، این نتایج با تحقیقات دوگان و همکاران (Dogan et al., 2012) مبنی بر تأثیرات منفی کاشت مرسوم بر تعداد گره‌های ریزوبیومی در گیاه نخود نسبت به انواع خاک‌ورزی حفاظتی، افزایش تعداد گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه گیاهان بر اثر کشت بدون خاک‌ورزی (Lopez-Bellido et al., 2011, a,b) و گزارش‌های ترابیان و همکاران (Torabian et al., 2019) در رابطه با اینکه خاک‌ورزی حفاظتی به صورت ویژه گره‌زایی و تثبیت نیتروژن را با توجه به افزایش رطوبت و بهبود می‌بخشد، همخوانی دارد.

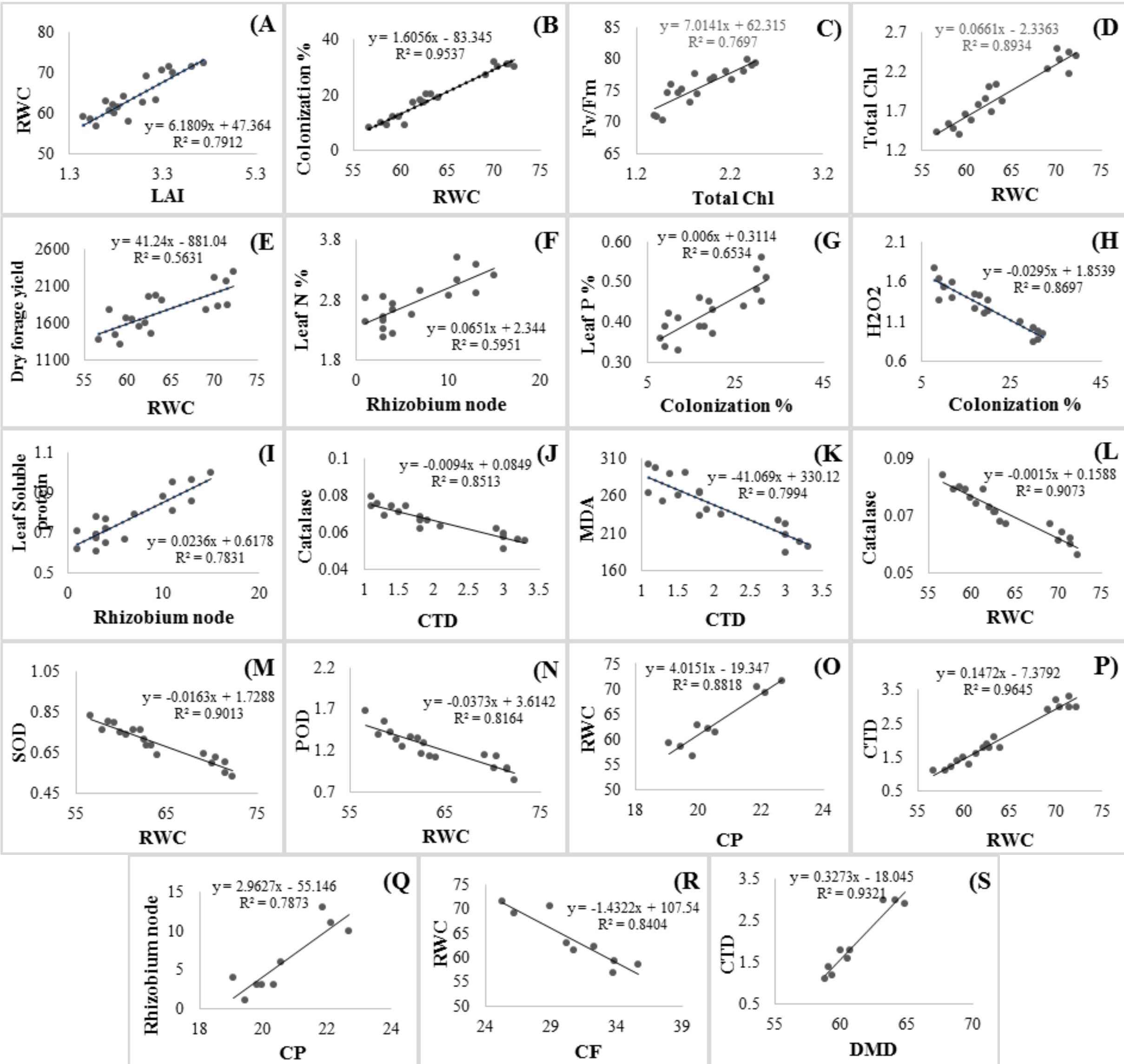
محتوای نسبی آب برگ (RWC) و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (CTD)

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۷)، بیشترین محتوای نسبی آب برگ گیاه ماشک در تیمار کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و مرسوم مشاهده شد. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌هایی که در خصوص ارزیابی فعالیت مناسب گیاهان می‌توان انجام داد، بررسی محتوای آب برگ (RWC) می‌باشد (Kaushal & Wani, 2016).

در این آزمایش با توجه بیشتر بودن درصد همزیستی قارچ مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم (جدول ۸) در ریشه ماشک‌های کشت شده به‌روش کشت مستقیم و در نتیجه آن، جذب بیشتر رطوبت از خاک، بنابراین محتوای نسبی آب برگ بالاتری نیز نسبت به دو تیمار دیگر داشتند (جدول ۷). در همین رابطه، محققان دیگری نیز در خصوص نقش مؤثر همزیستی قارچ مایکوریزا و باکتری‌های *ریزوبیوم* در افزایش جذب رطوبت خاک به گیاه (Baum et Mirzakhani et al., 2010 ; al., 2015; Habibzadeh et al., 2015) و افزایش آب گیاه به‌دلیل هیف‌های ایجاد شده در محیط اطراف ریشه اشاره داشته‌اند (Rahimzadeh & Pirzad, 2017). با توجه به عدم خاک‌ورزی در کشت مستقیم و احتمال نفوذ بیشتر ریشه به‌واسطه بالا بودن همزیستی با قارچ مایکوریزا (جدول ۸) همچنین بقایای گیاهی سال قبل در سطح خاک بنابراین رطوبت بیشتری جذب گیاه شده، بنابراین گیاه دارای آب برگ بیشتری بوده است. افزایش رطوبت خاک و وجود آب بیشتر در گیاهان بر اثر عدم خاک‌ورزی و کشت مستقیم توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Sapkota et al., 2014; Safari et al., 2014; Lampurlanes et al., 2016). درصد بالای همزیستی قارچ‌های مایکوریزا در کم‌خاک‌ورزی و بدون شخم نسبت به کشت مرسوم احتمالاً از دلایل افزایش جذب آب بیشتر و RWC بالاتر بوده است (جدول ۸) که با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد (Auge, 2001). با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۶)، کمترین اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط در تیمار کشت مرسوم (۱/۲۶°C) و بیشترین اختلاف نسبت به آن به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی (۱/۸۳°C) و کشت مستقیم (۳/۰۶ °C) بود. در آزمایش حاضر مشخص شد که دمای تاج‌پوشش رابطه مستقیمی با خاک‌ورزی دارد و با به هم خوردگی کمتر خاک، اختلاف دمای محیط با گیاه بیشتر بوده است (جدول ۶) که احتمالاً به‌دلیل رطوبت بیشتر خاک در کشت مستقیم و RWC بالاتر در نتیجه تبادلات گازی بهتر بوده است، بنابراین اختلاف دما (CTD) با محیط نیز بیشتر است. محققان دیگری هم در گزارش‌های خود افزایش آب خاک را در عدم خاک‌ورزی (Hemmat & Eskandari, 2006; Zhang et al., 2012) و دمای پایین‌تر تاج‌پوشش در اثر رطوبت بیشتر خاک اشاره کرده‌اند (Hatfield et al., 1987; Blum et al., 1988). در این آزمایش نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=۰/۹۸**) بین دمای تاج‌پوشش و میزان محتوای نسبی آب برگ مشاهده شد (شکل ۲- P). روحی و همکاران (Roohi et al., 2015) در بررسی‌های خود اختلاف معنی‌دار دمای تاج‌پوشش بر اثر تنش خشکی و ارتباط آن با رطوبت خاک را در زمان پرشدن دانه گندم، جو و تریتیکاله آبی گزارش کردند. محققان در مطالعات خود (Balota et al., 1993)، رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان عملکرد و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط را در یک تا سه هفته بعد از گل‌دهی اعلام کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. ارتباط محتوای نسبی آب برگ با تبادلات روزنه‌ای و ریشه گیاهان در مطالعات دیگری نیز بررسی شده است (Gupta et al., 2001; Fang & Xiong, 2015).

شاخص سطح برگ (LAI) و سطح ویژه برگ (SLA)

با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۶)، تیمار کشت مستقیم باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد. بر این اساس، SLA نیز تحت تأثیر تیمارهای خاک ورزی قرار گرفت، به‌طوری‌که گیاهان تحت شرایط کشت مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در یک دسته آماری قرار گرفته و به‌صورت معنی‌داری نسبت به کشت مستقیم کمتر بودند. یکی از شاخص‌های مهم جهت تعیین وضعیت رشدی مناسب گیاه در شرایط مختلف، اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشد (Qiu et al., 2017). با توجه به این که انجام خاک‌ورزی حفاظتی به‌واسطه بقایای گیاهی و ماده آلی خاک در زمین باعث ذخیره بیشتر آب در خاک و نهایتاً ساختار گیاه شده است (جدول ۷)، بنابراین گیاه ماشک توانایی گسترش اندام‌های بیشتری را داشته که در نتیجه افزایش میزان سطح برگ خود بوده است. در همین راستا، همبستگی معنی‌داری (r=۰/۸۸**) نیز در روند خاک‌ورزی بین سطح برگ و میزان RWC وجود دارد (شکل ۲-A). افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک-ورزی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Wasaya et al., 2017). به‌دلیل کمبود رطوبت گیاه (جدول ۷) در اثر کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم نسبت به کشت مستقیم، احتمالاً گیاه دچار تنش شده و به‌واسطه مقابله با آن و حفظ رطوبت، سطح خود را کاهش داده و باعث افزایش ضخامت برگ یا SLA نیز شده است. در این آزمایش، گیاهان کشت شده به‌روش مستقیم، SLA کمتری داشتند (جدول ۶). کاهش سطح برگ بر اثر تنش رطوبتی در گیاه لوبیا نیز گزارش شده است (Emam et al., 2010).



شکل ۲– همبستگی صفات فیزیولوژیک و کیفیت علوفه گیاه ماشک

Fig. 2- Correlation of physiological traits and forage quality of vetch

A: شاخص سطح برگ و میزان آب نسبی برگ **B**: میزان آب نسبی برگ و درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه**C**: میزان آب نسبی برگ و کارایی کوانتومی **D**: میزان آب نسبی برگ و کلروفیل کل **E**: میزان آب نسبی برگ و عملکرد علوفه خشک **F**: تعداد گره‌های ریزوبیومی و درصد نیتروژن برگ **G**: درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه و درصد فسفر برگ **H**: درصد کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا با ریشه و پراکسید هیدروژن **I**: تعداد گره‌های ریزوبیومی وپروتین محلول برگ **J**: اختلاف دمای محیط با تاج‌پوشش و آنزیم کاتالاز **K**: اختلاف دمای محیط با تاج‌پوشش و مالون د آلدئید **L**: میزان آب نسبی برگ و آنزیم کاتالاز **M**: میزان آب نسبی برگ و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز **N**: میزان آب نسبی برگ و آنزیم پروکسیداز **O**: پروتین خام اندمهایی هوایی با میزان آب نسبی برگ **P**: میزان آب نسبی برگ و اختلاف دمای محیط با کانوبی **Q**: پروتین خام اندمهایی هوایی با تعداد گره‌های ریزوبیومی **R**: فیبر خام اندمهایی هوایی با میزان آب نسبی برگ **S**: ماده خشک قابل هضم با اختلاف دمای محیط و تاج‌پوشش

A: Relative water content and Leaf area index; B: Relative water content and Colonization of mycorrhiza fungus; C: Relative water content and Quantum efficiency of photosystem II; D: Relative water content and Total chlorophyll; E: Relative water content and Dry forage yield; F: Number of rhizobium nodes and Leaf nitrogen; G: Colonization of mycorrhiza fungus and Leaf phosphorus; H: Colonization of mycorrhiza fungus and Hydrogen peroxide; I: Number of rhizobium nodes and Leaf soluble protein; J: Canopy temperature depression and Catalase; K: Canopy temperature depression and Malondialdehyde; L: Relative water content and Catalase; M: Relative water content and Superoxide dismutase; N: Relative water content and Peroxidase; O: Crude protein and Relative water content; p: Relative water content and Canopy temperature depression; Q: Crude protein and Number of rhizobium nodes; R: Crude fiber and Relative water content S: Dry matter digestibility and Canopy temperature depression.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید

کمترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل از گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم به‌دست آمد و کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم به ترتیب دارای بیشترین مقادیر بودند (جدول ۶). بیشترین مقدار کاروتنوئید برگ در تیمار کشت مستقیم و کمترین به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم بود (جدول ۶). در بررسی حاضر، گیاهان کشت شده در روش کشت مستقیم احتمالاً به‌دلیل بیشتر بودن رطوبت، درصد نیتروژن و فسفر برگ (جداول ۹ و ۱۰)، دارای میزان کلروفیل a و b بالاتری نیز بوده‌اند. در همین رابطه فیورینتینی و همکاران (Fiorentini et al., 2019) در آزمایشات خود افزایش میزان کلروفیل را در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم گزارش کردند. همچنین مونیائو و همکاران (Muniao et al., 2019) نیز در آزمایشات خود بر روی گیاه لوبیا نشان دادند که میزان غلظت کلروفیل در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کشت مستقیم کاهش می‌یابد که یافته‌های فوق با نتایج این تحقیق همسو می‌باشد. غلظت رنگدانه‌ها ارتباط قوی با ظرفیت فتوسنتزی دارد و شاخص مهمی از وضعیت رشد و شرایط فتوسنتزی گیاه است، بنابراین محتوای کلروفیل می‌تواند نشان‌دهنده آسیب احتمالی در اثر تنش رطوبتی و شاخص مناسبی برای تعیین میزان فتوسنتز باشد (Cenzano et al., 2013; Nageswara et al., 2001). در این آزمایش، با توجه به وجود میزان آب کمتر گیاهان (جدول ۷) در خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مستقیم، احتمالاً گیاه دچار تنش بوده که با تحقیقات مفاخری و همکاران (Mafakheri et al., 2010, 2011) مبنی بر کاهش میزان کلروفیل گیاه نخود در اثر تنش رطوبتی هم‌خوانی دارد. در همین راستا، با توجه به نتایج به‌دست آمده، همبستگی معنی‌داری ($r=0/94^{**}$) بین کلروفیل کل و میزان آب نسبی برگ (RWC) مشاهده شد (شکل ۲- D). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های فتوسنتزی کلیدی هستند که به‌عنوان اجزای اصلی آنتن‌های برداشت نور در واکنش‌های فتوسنتزی فعالیت دارند (Zakar et al., 2016). در تحقیق حاضر، احتمالاً گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی به‌دلیل کمتر بودن عناصر (جدول ۸) و آب برگ (جدول ۷) و همچنین پایین بودن کارآیی فتوسیستم ۲ (جدول ۶) نسبت به کشت مستقیم، تحت تنش بوده و با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن (جدول ۷) فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه تحت تأثیر قرار گرفته و میزان کلرفیل و کاروتنوئیدها هم کاهش یافته است. وانگ و همکاران (Wang et al., 2010) نیز اعلام کردند که در شرایط تنش مقدار کاروتنوئیدها کاهش یافته و نمی‌توانند نقش حفاظتی خود را انجام دهند و کاهش محتوای کاروتنوئید را به‌دلیل وجود اکسیژن فعال و تخریب ساختار آن‌ها اعلام کردند.

حداکثر کارایی کوآنتومی فتوسیستم ۲ (کلروفیل فلورسانس) در شب و روز

با توجه به نتایج به‌دست آمده، کمترین میزان کارآیی کوانتومی به ترتیب در شب و روز (تاریکی و روشنایی) مربوط به تیمار کشت مرسوم بود و بیشترین مقدار به‌ترتیب در کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم به‌دست آمد (جدول ۶). از مهم‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری سلامت چرخه فتوسنتزی، بررسی کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ (کلروفیل فلورسانس) می‌باشد که بدون هیچ گونه تخریبی قابل اندازه‌گیری است. در آزمایش حاضر با توجه به شرایط دیم، کاهش کلروفیل (جدول ۶) و آب (جدول ۷) در گیاهان کاشت شده به‌روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مستقیم، کارآیی کوانتومی نیز کاهش یافته است که در این مطالعه همبستگی معنی‌داری ($r=0/87^{**}$) بین حداکثر کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ در شب و کلروفیل کل مشاهده شد (شکل ۲- C). بنابراین، میزان کلروفیل فلورسانس در شرایط تاریکی و نور به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر انواع خاک‌ورزی قرار گرفته است (جدول ۶). در همین راستا، کاوشال و وانی (Kaushal & Wani., 2016) اعلام کردند که کاهش در میزان کلروفیل فلورسانس (عملکرد کوانتومی، Fv/Fm) نشان‌دهنده افزایش خسارت در برگ می‌باشد. محققان دیگر نیز اعلام کردند که نسبت کلروفیل فلورسانس تحت تأثیر تنش رطوبتی کاهش می‌یابد (Khan et al., 2019)، همچنین گزارش شده است که رابطه معنی‌داری بین تنش خشکی و میزان کلروفیل فلورسانس در زمان پرشدن دانه گندم، جو و تریتیکاله آبی (Roohi et al., 2015) وجود دارد که یافته‌های فوق با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

محتوای آنزیمی و غیر آنزیمی وابسته به تنش اکسیداتیو اکسیدان و آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷)، بیشترین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (CAT[1])، سوپر اکسید دیسموتاز

1- Catalase

(SOD[1]) و پراکسیداز (POD[2]) در گیاهان کشت شده در تیمار خاک ورزی مرسوم بود، کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم در رده بعدی قرار داشتند. کشت مرسوم باعث افزایش ۲۳/۲ درصد (CAT)، ۲۴/۶ درصد (SOD) و ۳۰/۶ درصد (POD) نسبت به کشت مستقیم و ۹/۵ درصد (CAT)، نه درصد (SOD) و ۱۳/۹ درصد (POD) نسبت به کم‌خاک‌ورزی شد. همچنین گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم بیشترین میزان پرواکسید هیدروژن (H_2O_2) را داشتند که در مقایسه با آن به‌ترتیب کم‌خاک‌ورزی ۱۴ درصد و کشت مستقیم ۳۰ درصد کمتر بودند. گیاهان برای مقابله با تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی، سازوکارهای خاصی را دارند و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در اثر بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان اتفاق می‌افتد (Reddy et al., 2004). در گیاهان کشت شده به‌روش کشت مرسوم، احتمالاً به‌دلیل اختلاف پایین دمای تاج‌پوشش با محیط، تنش رطوبتی، کمبود عناصر نیتروژن، فسفر و کلروفیل برگ، میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش پیدا کرده و گیاه نیز به‌جهت خنثی‌سازی آن‌ها آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی خود شامل سوپراکسید دیسموتاز، پرواکسیداز و کاتالاز را افزایش داده است (جداول ۶، ۷ و ۸). در آزمایش حاضر نیز با توجه به شرایط دیم، تیمار خاک‌ورزی بر روی گونه‌های فعال اکسیژنی مؤثر بوده و به همین منظور، رابطه مستقیمی بین محتوای نسبی آب برگ و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (شکل ۲- L, M, N) مشاهده شد که این رابطه ($r=0.92^{**}$) بین دمای تاج‌پوشش و کاتالاز هم به‌دست آمد (شکل ۲- J). محققان دیگری نیز افزایش پراکسید هیدروژن و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در تنش خشکی اعلام کرده‌اند (Dat et al., 2000). احتمالاً به‌دلیل به هم خوردگی کمتر خاک در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی در نتیجه رطوبت بیشتر خاک، گیاه با جذب بیشتر، میزان آب بالاتری نسبت به کشت مرسوم داشته، بنابراین کمتر در معرض تنش خشکی و گونه‌های فعال اکسیژنی قرار گرفته، بنابراین تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز کمتر بوده است. نتایج این تحقیق با سایر محققان (Mafakheri et al., 2011; Khan et al., 2019; Wang et al., 2018) که اعلام کردند، میزان آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز تحت تنش رطوبتی در گیاهان افزایش می‌یابد، هم راستا می‌باشد.

1- Superoxide dismutase
2- Peroxidase

مالون د آلدئید، پراکسید هیدروژن و پرولین

در این مطالعه، گیاهان کشت شده به‌روش مرسوم، بیشترین میزان مالون دآلدئید (MDA) و پرولین را داشتند که میزان MDA به ترتیب در کم‌خاک‌ورزی هشت درصد و کشت مستقیم ۲۵/۸ درصد کمتر از کشت مرسوم بود، این کاهش نیز برای پرولین ۳۸/۱ درصد و ۵۴/۲ درصد در مقایسه با کشت مرسوم بود (جدول ۷). با توجه به این که در این آزمایش، گیاهانی که در کشت مرسوم بودند، به‌دلیل اختلاف کم دمای تاج‌پوشش با محیط (جدول ۶) و آب کمتر در برگ‌های خود (جدول ۷) در معرض تنش کم‌آبی و دمایی قرار داشتند، این امر موجب آسیب به غشای سلولی و افزایش میزان مالون د آلدئید شده است، امّا در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی میزان کمتری از MDA مشاهده شد (جدول ۷). در همین رابطه، همبستگی معنی‌داری ($r=0.89^{**}$) بین محتوای MDA و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (CTD) مشاهده شد (شکل ۲- K). در راستای نتایج این تحقیق، سایر محققان نیز اعلام کردند که میزان MDA در مرحله پر شدن دانه تا رسیدگی به‌دلیل تنش رطوبتی رو به افزایش (Wang et al., 2017) و کشت مستقیم باعث کاهش میزان MDA می‌شود (Huang et al., 2012). پرولین یکی از رایج‌ترین اسمولیت‌های سازگار در گیاهان است که عمدتاً متابولیسم آن در پاسخ به تنش رطوبتی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Verbruggen & Hermans, 2008). در این مطالعه، با توجه به اینکه کاهش خاک‌ورزی باعث بهبود وضعیت آبی گیاه شده است، بنابراین اسید آمینه پرولین کمتری نیز در تیمار کشت مستقیم مشاهده شد (جدول ۷). گیاهان در کشت مرسوم به‌دلیل پایین بودن اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط (جدول ۷) همچنین میزان کمتر فعالیت قارچ‌های مایکوریزا (جدول ۸)، پرولین بیشتری داشته‌اند که عکس‌العمل گیاه در مقابل تنش آبی و دمایی در راستای تنظیم فشار اسمزی بوده است. شینده و سینگ (Shinde & Singh, 2017) نیز افزایش پرولین را در اثر کم‌آبی گزارش کرده‌اند. سایر محققان نیز نتایج مشابهی در رابطه با تنش کم‌آبی و میزان پرولین گزارش کرده‌اند (Wilkinson & Davies, 2002; Reddy et al., 2004).

پروتئین (برگ و دانه) و کربوهیدرات‌های محلول در برگ

کمترین میزان پروتئین و کربوهیدرات محلول برگ در تیمار

کشت مرسوم به‌دست آمد و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم بیشتر بود (جدول ۷). به‌دلیل اهمیت فتوسنتز و فرآورده‌های آن و به‌جهت ارزیابی اثرات و تنش‌های زنده و غیر زنده، میزان پروتئین‌های محلول و کربوهیدرات‌های برگ اندازه گیری می‌شود. بر همین اساس تغییرات پروتئین‌های محلول و کربوهیدرات‌های برگ گیاه ماشک در بین کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم نیز به‌صورت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷). میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ می‌تواند نتیجه تجزیه نشاسته در اثر تنش و یا عملکرد بهتر فتوسنتزی گیاه باشد. در کاشت مستقیم با توجه به بالا بودن سطح کلروفیل، عملکرد کوانتومی بالاتر و میزان رطوبت بیشتر گیاه و همچنین درصد همزیستی بیشتر با قارچ مایکوریزا (جداول ۶، ۷ و ۸)، گیاه توانسته است به‌واسطه فتوسنتز بیشتر، تولید قندهای بیشتری داشته باشد، درحالی‌که شرایط مذکور در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم کمتر بوده، در نتیجه موجب کاهش میزان قندها شده است. این نتایج با یافته‌های محققان دیگر (Subramanian & Auge et al., 1987; Auge, 2001; Charest, 1999) در این رابطه هم‌خوانی دارد. در تیمار کشت مرسوم با توجه به پایین بودن میزان نیتروژن برگ، کلروفیل و کلروفیل فلورسانس (جداول ۶ و ۸) به نظر می‌رسد که گیاه فتوسنتز کمتری داشته، در نتیجه میزان پروتئین محلول برگ هم نسبت به کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی کمتر بوده است. هیوانگ و همکاران (Huang et al., 2012) نیز در آزمایشات خود افزایش میزان پروتئین‌های محلول برگ را در مزارع کشت مستقیم برنج نسبت به کاشت مرسوم مشاهده کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. محققان دیگری نیز گزارش‌هایی درخصوص کاهش میزان پروتئین محلول برگ به‌واسطه کمبود آب و فتوسنتز ارائه کرده‌اند (Mafakheri et al., 2011; Shinde & Singh, 2017).

میزان فسفر و نیتروژن برگ، نیتروژن و پروتئین خام دانه

بیشترین میزان نیتروژن برگ (۳/۱۶ درصد)، فسفر برگ (۰/۴۹ درصد)، و نیتروژن دانه (۳/۷۲ درصد) در تیمار کشت مستقیم به‌دست آمد و مقادیر آن‌ها به‌ترتیب در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم کمتر بود. در این مطالعه، مقادیر نیتروژن دانه و فسفر برگ در کشت مستقیم و کم‌خاک‌ورزی نسبت به کشت مرسوم به‌صورت معنی‌داری افزایش داشت، امّا تغییرات مقادیر نیتروژن برگ در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و مرسوم معنی‌دار نبودند (جدول ۸). در همین رابطه، سایر پژوهشگران افزایش نیتروژن دانه را در گیاه نخود با توجه به کشت آن در انواع خاک‌ورزی حفاظتی گزارش کردند (Neumann et al., 2007). بیشترین میزان پروتئین خام دانه گیاه ماشک به صورت قابل توجهی در کشت مستقیم (۲۱/۲۳ درصد) و به‌ترتیب کمترین نسبت به آن در کم‌خاک‌ورزی (۱۹/۹۸ درصد) و کشت مرسوم (۱۹/۶۹ درصد) بودند (جدول ۸). با توجه به اینکه در این آزمایش کلونیزاسیون قارچ میکوریزا و RWC گیاهان در تیمار کشت مستقیم بهتر از سایر تیمارها بود (جداول ۷،۸)، احتمالاً جذب عناصر به خصوص فسفر نیز از خاک به‌واسطه همزیستی بیشتر ریشه با قارچ مایکوریزا بیشتر بوده است (شکل ۲- G). جذب بیشتر فسفر از خاک به‌واسطه قارچ‌های مایکوریزا در اثر کشت مستقیم و افزایش معنی‌دار آن در گیاه نخود نسبت به کشت مرسوم توسط سایر پژوهشگران اعلام شده است (Rosner et al., 2020). همچنین گزارش شده است که افزایش سرعت جذب فسفر توسط گیاه میزبان به‌دلیل حضور انشعابات فراوان هیف‌های مایکوریزا در داخل سلول‌های پوست ریشه گیاه است که سطح وسیعی را برای انتقال عناصر غذایی به‌خصوص فسفر به گیاه میزبان و دانه فراهم می‌نماید (Rahimzadeh & Pirzad, 2017). نتایج این آزمایش مبنی بر مقدار فسفر کمتر در برگ گیاهان کشت شده به‌روش کم‌خاک‌ورزی و مرسوم نسبت به کشت مستقیم با گزارش محققان دیگر (Liu et Eke et al., 2016; al., 2007, 2000) مبنی بر این که قارچ مایکوریزا در جذب و دسترسی به عناصر غذایی مخصوصاً عناصر غیر متحرک مانند فسفر نقش بسزایی دارد، هم‌خوانی دارد. در دیگر تحقیقات نیز افزایش میزان فسفر برگ گیاه برنج در اراضی کشت مستقیم گزارش شده است (Huang et al., 2012) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در این مطالعه، گیاه ماشک با بهره‌گیری از قارچ‌های مایکوریزا و تثبیت بهتر نیتروژن به‌واسطه تعداد بیشتر گره‌های ریزوبیومی بر روی ریشه و همچنین RWC بالاتر (جداول ۷و۸) در تیمار کاشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم توانسته است، نیتروژن بیشتری به برگ و از آنجا به دانه انتقال داده که منجر به افزایش پروتئین دانه نیز شده است. در همین راستا، محققان بیشتر بودن میزان نیتروژن در قسمت‌های مختلف و اندام هوایی گیاهان کشت شده در سیستم کاشت مستقیم نسبت به کشت مرسوم را اعلام کرده‌اند (Dogan et al., 2012; Torabian et al., 2019). همچنین

گزارش شده است که جذب نیتروژن در گیاهانی که ریشه آن‌ها میزبان قارچ‌های مایکوریزاست، بیشتر و غلظت آن در شاخ و برگ گیاهان بالاتر از گیاهان فاقد مایکوریزا می‌باشد (Subramanian & Charest., 1999). نتایج این آزمایش با گزارش‌های فوق مطابقت دارد. افزایش قابل ملاحظه تثبیت نیتروژن اتمسفری در تیمار کشت مستقیم نسبت به کاشت مرسوم در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است (Mohammad et al., 2010Ruisi et al., 2012 ;). با توجه به بیشتر بودن میزان کلروفیل در تیمار کشت مستقیم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و مرسوم در این آزمایش (جدول ۶)، بنابراین مقدار نیتروژن برگ نیز افزایش یافته است که در همین راستا، رابطه نزدیک بین کلروفیل و نیتروژن برگ نیز گزارش شده است (Evans, 1989).

کیفیت علوفه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس سال آخر آزمایش، تیمار خاک‌ورزی در تمامی صفت‌های مورد مطالعه کیفیت علوفه معنی‌دار بود (جدول ۹). در این مطالعه، کشت مستقیم باعث افزایش پروتئین خالص (CP[1])، هضم‌پذیری علوفه (DMD[2])، پروتئین محلول آب (WSC[3]) و میزان خاکستر (Ash[4]) همچنین کاهش فیبر خام (CF[5])، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF[6]) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF[7]) به‌ترتیب نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد. در این آزمایش، میزان پروتئین خالص و خاکستر علوفه از نظر آماری در هر دو تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۱۰)، امّا تفاوت معنی‌داری در سایر صفات اندازه‌گیری شده مربوط به کیفیت علوفه وجود داشت. احتمالاً گیاهان کاشته شده به‌روش کاشت مستقیم با توجه به بهره‌گیری از همزیستی بهتر با قارچ مایکوریزا و باکتری *ریزوبیوم* (جدول ۸) به جهت افزایش جذب بیشتر رطوبت (جدول ۷) و عناصر خاک (جدول ۸) و همچنین وجود کلروفیل بیشتر در اندام‌های هوایی و کارایی فتوسنتز بهتر (جدول ۶) توانسته‌اند ماده پروتئینی بیشتری تولید کنند، در نتیجه تولید ماده خشک و خاکستر بیشتری نیز نسبت به تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم داشته است. در همین رابطه نیز باوم و همکاران (Baum et al., 2015) در مطالعات خود به اثرات مثبت قارچ مایکوریزا و باکتری *ریزوبیوم* در جذب بیشتر آب و عناصر و رشد بهتر گیاه اشاره کرده‌اند. سایر پژوهشگران نیز اعلام کردند که قارچ مایکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز می‌شود و آن را به‌دلیل افزایش درصد نیتروژن برگ، سپس افزایش غلظت کلروفیل و راندمان مصرف فسفر در گیاه بیان کردند (Wu & Xia., 2006). با توجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ۸)، افزایش همزیستی گره‌های ریزوبیومی در کشت مستقیم باعث تولید بیشتر نیتروژن برای گیاه شده که موجب ایجاد همبستگی ($r=۰/۸۸^{**}$) معنی‌داری با درصد پروتئین خالص گردید (شکل ۲- Q). وجود کربوهیدرات‌های محلول در کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم موجب افزایش کربوهیدرات‌های غیر قابل حل و تولید چوب بیشتر و در نتیجه، خشبی شدن و هضم‌پذیری کمتر گیاه نسبت به کشت مستقیم شده است (جدول ۱۰). پژوهشگران هم اعلام کردند که تنش رطوبتی باعث افزایش CF و کاهش DMD در گیاه می‌شود (Arzani, 2006). در این آزمایش، همبستگی معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ با پروتئین خالص ($r=۰/۹۳^{**}$) و فیبر خام ($r=۰/۹۱^{**}$) به‌دست آمد (شکل ۲- R ,O). پایین بودن دمای تاج‌پوشش در کشت مستقیم باعث کیفیت بهتر علوفه و افزایش هضم‌پذیری آن نسبت به تیمار کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم شد (شکل ۲- S).

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، گیاهان کشت شده در کشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) و کم‌خاک‌ورزی، عملکرد و ارتفاع بیشتری نسبت به کشت مرسوم نشان دادند. افزایش رطوبت نسبی برگ و اختلاف دمای تاج‌پوشش با محیط به‌صورت قابل توجهی در کشت مستقیم مشاهده شد. به‌موازات کاهش RWC، میزان کلروفیل و کاروتنوئید گیاهان کشت شده در روش مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و کشت مستقیم کمتر شد. حداکثر کارآیی کوانتومی فتوسیستم ۲ به‌واسطه کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی بیشتر از کم‌خاک‌ورزی و مرسوم شد. شاخص سطح برگ در تیمار کشت مستقیم بیشتر ارزیابی گردید. درصد کلونیزاسیون، اسپوریزاسیون قارچ مایکوریزا و تعداد گره‌های ریزوبیومی رابطه مستقیمی با انواع خاک‌ورزی داشتند و افزایش معنی‌داری را در کشت مستقیم بدون خاک‌ورزی نسبت به دو تیمار

1- Crude protein
2- Dry matter digestibility
3- Water soluble carbonates
4- Percentage of ash
5- Crude fiber
6- Acid detergent fiber
7- Neutral detergent fiber

دیگر دارای خاک‌ورزی کم و کشت مرسوم از خود نشان دادند. میـزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پراکسید هیدروژن، مالون د آلدئید و پـرولین در کشت مرسوم نسبت به کم‌خـاک‌ورزی و کشـت مسـتقیم افـزایش داشتند. کلیه پارامترهای کیفیت علوفه در کشت مستقیم نسبت بـه دو تیمار دیگر بهبود داشتند. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد کـه خاک‌ورزی کاهشی به‌ویژه کشت مستقیم در شرایط دیم بـا توجـه بـه تغییرات بیولوژیکی و ساختاری که در خاک بـه‌وجـود مـی‌آورد، سـبب تغییرات مثبت مورفوفیزیولوژیکی و کیفیت علوفه در گیاه ماشک مـی شود و به نظر می‌رسد که در افزایش عملکـرد و بهبـود شـرایط رشـد مؤثر می‌باشد، بنابراین با توجه به نتایج این آزمـایش در اراضـی دیـم، خاک‌ورزی به‌صورت کشت مستقیم (بـدون خـاک‌ورزی) توصـیه مـی شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقـات کشـاورزی و منـابع طبیعـی اسـتان کردستان به‌خاطر مجوز انجام این آزمایش پس از اجرای پـروژه خـود که به‌مدت دو سال به‌صورت مستقل انجام شد، صمیمانه تشـکر مـی کنیم.

References

1. Abdullah, A.Y., Muwalla, M.M., Qudsieh, R.I., & Titi, H.H. (2010). Effect of bitter vetch (Vicia ervilia) seeds as a replacement protein source of soybean meal on performance and carcass characteristics of finishing Awassi lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 42(2), 293-300. https://doi.org/10.1007/s11250-009-9420-x
2. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105, 121–126. https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3
3. Alizadeh, K. (2019). The annual forage crops under dryland conditions-A review. *Iranian Journal of dryland Agriculture,* 8(1), 95-113. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22092/idaj.2019.124675.245
4. Alizadeh, K. & Silva, J.D, (2013). Mixed cropping of annual feed legumes with barley improves feed quantity and crude protein content under dry-land conditions. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 7 (1), 42-47. http://www.mijst.mju.ac.th/vol7/42-47.pdf
5. Al-Karaki, G., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14, 263–269. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2
6. Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., & Gangali, A. (2010). The Effects of drought stress at different phenological stages on morphological traits and yield components of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 8(1), 157-166. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v8i1.7406
7. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., & Zou, C.M. (2011a). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science, 197, 177–185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x
8. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Xue, L.L., & Ali, S. (2011b). Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 409–417. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00483.x
9. Arzani, H., Basiri, M. Khatibi, F., & Ghorbani, G. (2006). Nutritive value of some Zagros mountain rangeland species. *Small Ruminant Research*, 65, 128-135. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.033
10. Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3–42. https://doi.org/10.1007/s005720100097
11. Auge, R.M., Schekel, K.A., & Wample, R.L. (1987). Leaf water and carbohydrate status of VA mycorrhizal rose exposed to drought stress. *Plant and Soil*, 99, 291–302. https://doi.org/10.1007/BF02370876
12. Auge, R.M., Toler, H.D., & Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. *Mycorrhiza,* 25(1), 13-24. https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4
13. Balota, M., Amani, I., Reynolds, M.P., & Acevedo, E. (1993). Evaluation of membrane thermos ability and canopy depression as screening traits for heat tolerance in wheat. *Wheat special report* No, 20. Cimmyt, Mexico. http://hdl.handle.net/10883/1174
14. Bates, L.S., Waldren R.P., & Teare, I.D, (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

15. Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops usiong arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Scientia Horticulturae,* 187, 131–141. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002
16. Blum, A. (1988). Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. https://doi.org/10.1201/9781351075718
17. Borstlap, S., & Entz, M.H. (1994). Zero-tillage influence on canola, field pea, and wheat in a dry subhumid region: agronomic and physiological responses. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 411–420. https://doi.org/10.4141/cjps94-078
18. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of micro-gram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
19. Brestic, M., Zivcak, M., Kalaji, H.M., Allakhverdiev, S.I., & Carpentier, R. (2012). Photosystem II thermo-stability in situ: Environmentally induced acclimation and genotype-specific reactions in *Triticum aestivum* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 93–105. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.05.012
20. Broderick, G.A. (1995). Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2760-2773. https://doi.org/10.2527/1995.7392760x
21. Brundrett, M., Melville, L., & Peterson, L. (1994). Practical methods in mycorrhiza research. Guelph, ON, Canada: University of Guelph, Mycologue Publication. https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA24101196?l=en
22. Cannella, D., Mollers, K.B., Frigaard, N.U., Jensen, P.E., Bjerrum, M.J., Johansen, K.S., & Felby, C. (2016). Light-driven oxidation of polysaccharides by photosynthetic pigments and a metalloenzyme. *Nature Communications*, 7(1), 1-8. https://doi.org/10.1038/ncomms11134
23. Cenzano, A.M., Varela, M.C., Bertiller, M.B., & Luna, M.V. (2013). Effect of drought on morphological and functional traits of *Poa ligularis* and *Pappostipa speciosa*, native perennial grasses with wide distribution in Patagonian rangelands, Argentina. Australian *Journal of Botany*, 61(5), 383-393. http://dx.doi.org/10.1071/BT12298
24. Chaieb, N., Rezgui, M., Ayed, S., Bahri, H., Cheikh M'hamed, H., Rezgui, M., & Annabi, M. (2020). Effects of tillage and crop rotation on yield and quality parameters of durum wheat in Tunisia. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 44(2), 7654-7676. https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v44-2.7
25. Corsi, S., & Muminjanov, H. (2019). Conservation agriculture: Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia. Rome, Food and Agriculture Organization United Nations. 136 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo
26. Dat, J., Vandenbeele, S., Vranova, E., VanMontagu, M., Inze, D., & VanBreusegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57, 779–795. https://doi.org/10.1007/s000180050041
27. Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased leaves of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 93–101. https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93
28. Dogan, K., Celik, I., Gok, M., & Coskan, A. (2012). Effect of different soil tillage methods on rhizobial nodulation, biyomas and nitrogen content of second crop soybean. *African Journal of Microbiology Research*, 5, 3186–3194. https://doi.org/10.5897/AJMR11.165
29. Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substrates. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017
30. Eke, P., Chatue, G.C., Wakam, L.N., Kovipou, R.M.T., Fokou, P.V.T., & Boyom, F.F. (2016). Mycorrhiza consortia suppress the fusarium root rot (*Fusarium solani* f. sp. phaseoli) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biological Control*, 103, 240-250. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.001
31. Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., & Jalali, A.H.P. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(5), 495-499. https://doi.org/10.1080/03650340.2010.530256
32. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tufenkci, S., Oguz, F., & Akkopru, A. (2011). Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. *Field Crops Research*, 122(1), 14-24. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.002
33. Evans, J.R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78(1), 9-19. https://doi.org/10.1007/BF00377192

34. Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(4), 673-689. https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0
35. FAO, (2019). Conservation Agriculture, Available online at: https://www.fao.org/3/i7154en/i7154en.
36. Farshadfar, E., & Mohammadi, R. (2003). An evaluation of physiological indices of drought tolerance in agropyron using multiple selection index. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 34(3), 635-646. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.41406
37. Fiorentini, M., Zenobi, S., Giorgini, E., Basili, D., Conti, C., Pro, C., Monaci, E., & Orsini, R. (2019). Nitrogen and chlorophyll status determination in durum wheat as influenced by fertilization and soil management: Preliminary results. *Plos One*, 14, e0225126. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225126
38. Firincioglu, H.K., Unal, S., Erbektas, E., & Dogruyol, L. (2010). Relationships between seed yield and yield components in common vetch (Vicia sativa ssp. sativa) populations sown in spring and autumn in central Turkey. *Field Crops Research*, 116(1-2), 30-37. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.005
39. Flexas, J., Escalona, J.M., Evain, S., Gulı´as, J., Moya, I., Osmond, C.B., & Medrano, H. (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (Fs) measurements as a tool to follow variations of net CO2 assimilation and stomatal conductance during water-stress in C3 plants. *Physiologia Plantarum*, 114, 231–240. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140209.x
40. Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016
41. Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologyst*, 84, 489–500. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x
42. Guidi, L., & Calatayud, A. (2014). Non-invasive tools to estimate stress induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 42–52. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.007
43. Gupta, N.K., Gupta, S., & Kumar, S. (2001). Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186, 55–62. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00457.x
44. Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., & Eini, O. (2015). Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1754-1767. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1043374
45. Hansen, N.C., Allen, B.L., Baumhardt, R.L., & Lyon, D.J. (2012). Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid US Great Plains. *Field Crops Research*, 132, 196–203. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.021
46. Hatfield, J.L., Quisenberry, J.E., & Dilbeck, R.E. (1987). Use of canopy temperature to identify water conservation in cotton germplasm. *Crop Science*, 27, 269-273. https://doi.org/10.2135/cropsci1987.0011183X002700020030x
47. Hemmat, A., & Eskandari, I. (2006). Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in Northwestern Iran. *Soil and Tillage Research*, 86, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.003
48. Hemmat, A., & Eskandari, I. (2004). Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat chickpea rotation in the northwest region of Iran. *Soil and Tillage Research*, 78, 69–81. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.013
49. Hirayama, M., Wada, Y., & Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science*, 56(1), 47-54. https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.47
50. Houborg, R., McCabe, M., Cescatti, A., Gao, F., Schull, M., & Gitelson, A. (2015). Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). *Remote Sensing Environment*, 159, 203–221. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.008
51. Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia, B., Feng, Y., Cheng, Z. and Mo, Y. (2012). Effect of tillage on soil and crop properties of wet-seeded flooded rice. *Field Crops Research*, 129, 28–38. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.013
52. Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E.K. (2003). A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. *Irish Journal of Agriculture and Food Research*, 42(2), 293-299. https://www.jstor.org/stable/25562497
53. Jiang, S., Liu, Y., Luo, J., Qin, M., Johnson, N.C., Opik, M., Vasar, M., Chai, Y., Zhou, X., Mao, L., & Du, G. (2018). Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal community structure and functioning along a nitrogen enrichment gradient in an alpine meadow ecosystem. *New Phytologist*, 220, 1222-1235. https://doi.org/10.1111/nph.15112

54. Kalaji, M.H., Bosa, K., Kos´cielniak, J., & Hossain, Z. (2011). Chlorophyll a fluorescence—A useful tool for the early detection of temperature stress in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Omics: A Journal of Integrative Biology*, 15(12), 925-934. https://doi.org/10.1089/omi.2011.0070
55. Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10(16), 5692. https://doi.org/10.3390/app10165692
56. Kaschuk, G., Alberton, O., & Hungria, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020
57. Kaushal, M., & Wani, S.P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. Agriculture, Ecosystems and Environment, 231, 68–78. https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031
58. Khan, N., Bano, A., Rahman, M.A., Rathinasabapathi, B., & Babar, M.A. (2019). UPLC-HRMS-based untargeted metabolic profiling reveals changes in chickpea (*Cicer arietinum*) metabolome following long-term drought stress. *Plant Cell and Environment*, 42(1), 115-132. https://doi.org/10.1111/pce.13195
59. Kitson, R.E., & Mellon, M.G. (1944). Colorimetric determination of phosphorus as molydovanado phosphoric acid. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 16(6), 379-383. https://doi.org/10.1021/i560130a017
60. Kjeldahl, J. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen Körpern. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 22, 366–382. https://doi.org/10.1007/BF01338151
61. Kurdali, F., Sharabi, N.E., & Arsalan, A. (1996). Rainfed vetch-barley mixed cropping in the Syrian semi-arid conditions. *Plant and Soil*, 183(1), 137-148. https://doi.org/10.1007/BF02185573
62. Lampurlanés, J., Plaza-Bonilla, D., & Álvaro-Fuentes Cantero-Martinez, C. (2016). Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. *Field Crops Research*, 189, 59–67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.010
63. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., Ma, B.L., & Smith, D.L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9, 331–336. https://doi.org/10.1007/s005720050277
64. Liu, A., Plenchette, C., & Hamel, C. (2007). Soil nutrient and water providers: How arbuscular mycorrhizal mycelia support plant performance in a resource limited world. In: Hamel, C., Plenchette, C. (Eds.), Mycorrhizae in Crop Production. Haworth Food and Agricultural Products Press, Binghamton, New York, Chapter 2, pp. 37–66.
65. Lopez-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Benítez-Vega, J., Muñoz-Romero, V., López-Bellido, F.J., & Redondo, R. (2011a). Chickpea and faba bean nitrogen fixation in a Mediterranean rainfed Vertisol: Effect of the tillage system. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 222–230. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.005
66. Lopez-Bellido, L., Benítez-Vega, J., García, P., Redondo, R., & López-Bellido, R.J. (2011b). Tillage system effect on nitrogen rhizodeposited by faba bean and chickpea. *Field Crops Research*, 120, 189–195. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.001
67. Loreto, F., & Velikova, V. (2001). Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology*, 127, 1781–1787. https://doi.org/10.1104/pp.010497
68. MacAdam, J.W., Nelson, C.J., & Sharp, R.E. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99, 872–878. https://doi.org/10.1104/pp.99.3.872
69. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., & Sohrabi, Y. (2010). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4, 580-585. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.857341254680658
70. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpeas (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1255-1260. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.746357591676684
71. Man, J.G., Yu, Z.W., & Shi, Y. (2017). Radiation interception, chlorophyll fluorescence and senescence of flag leaves in winter wheat under supplemental irrigation. *Scientific Reports*, 7, 7767. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07414-2
72. Merah, O. (2001). Potential importance of water status traits for durum wheat improvement under Mediterranean conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 137(2), 139-145. https://doi.org/10.1017/S0021859601001253
73. Ministry of Agricultural Jahad. (2020). Agricultural Products Statistics, 1, p. 89. (In Persian)
74. Mirzakhani, M., Ardakani, M.R., Rejali, F., Shirani, R.A., & Aeene Band, A. (2010). Evaluation of seed twofold inoculation by fungi *Glomus intraradices* Mycorrhiza and *Azotobacter chorococum* with various nitrogen and

phosphorus levels use on oil yield and some of traits in safflower. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 6(1), 75-87. (In Persian with English abstract)

75. Mohammad, W., Shehzadi, S., Shah, S.M., & Shah, Z. (2010). Effect of tillage and crop residues management on mungbean (Vigna raiata) crop yield, nitrogen fixation and water use efficiency in rainfed areas. *Pakistan Journal of Botany*, 42(3), 1781–1789.
76. Munyao, J.K., Gathaara, M.H., & Micheni, A.F. (2019). Effects of conservation tillage on maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) chlorophyll, sugars and yields in humic nitisols soils of Embu County, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 14(29), 1272-1278. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14086
77. Nageswara, Rao. R.C., Talwar, H.S., & Wright, G.C. (2001). Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using chlorophyll meter. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 175_182. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00472.x
78. Neumann, A., Schmidtke, K., & Rauber, R. (2007). Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research*, 100, 285–293. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.08.001
79. Ngwira, A., Aune, J.B., & Mkwinda, S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conversation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132, 84–94. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.014
80. Oldfield, E.E., Bradford, M.A., & Wood, S.A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5, 15–32. https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019
81. Owusu-Apenten, R.K. (2002). Food Protein Analysis: Quantitative Effects on Processing. Marcel Dekker, New York. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780203910580
82. Piggin, C., Haddad, A., Khalil, Y., Loss, S., & Pala, M. (2015). Effects of tillage and time of sowing on bread wheat, chickpea, barley and lentil grown in rotation in rain-fed systems in Syria. *Field Crops Research*, 173, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.014
83. Qingjiea, W., Caiyuna, L., Hongwena, L., Jina, H., Kumer Sarker, K., Rabi, G., Rasaily, A., Liang Zhonghuic, L., Xiaodonga, Q., Huia, L., & David Jack, A. (2014). The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-Year experiment on alkaline soils of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 137, 43-49. https://doi.org/10.1016/j.still.2013.11.006
84. Qiu, T., Jiang, L., Li, S., & Yang, Y. (2017). Small-scale habitat-specific variation and adaptive divergence of photosynthetic pigments in different alkali soils in reed identified by common garden and genetic tests. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2016. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02016
85. Rahimzadeh, S., & Pirzad, A. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): A field study. *Mycorrhiza*, 27(6), 537–552. https://doi.org/10.1007/s00572-017-0775-y
86. Ramamoorthy, P., Lakshmanan, K., Upadhyaya, H.D., Vadez, V., & Varshney, R.K. (2016). Shoot traits and their relevance in terminal drought tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 197, 10–27. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.016
87. Rastegar, M.A. (2005). Forage Crops Production. Norpardazan Publishers, Iran. pp. 275. (In Persian)
88. Rebolé Garrigós, A., Alzueta Lusarreta, C., Ortiz Vera, L.T., Barro de Neyra, M., Rodríguez Membibre, M.L. & Caballero, R. (2004). Yields and chemical composition of different parts of the common vetch at flowering and at two seed filling stages. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(4), 550-557. https://doi.org/10.5424/sjar/2004024-111
89. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1189–1202. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013
90. Reiter, K., Schmidtke, K., & Rauber, R. (2002). The influence of long-term tillage systems on symbiotic N2 fixation of pea (Pisum sativum L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil*, 238, 41–55. https://doi.org/10.1023/A:1014240311597
91. Reynolds, M.P., Pierre, C.S., Saad, A.S., Vargas, M., & Condon, A.G. (2007). Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. *Crop Science*, 47, 172-189. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.10.0022IPBS
92. Roohi, E., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres Sanavy, S.A.M., & Siosemardeh, A. (2015). Association of some photosynthetic characteristics with canopy temperature in three cereal species under soil water deficit condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 1233-1244.

93. Rosner, K., Hage-Ahmed, K., Bodner, G., & Steinkellner, S. (2020). Soil tillage and herbicide applications in pea: arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth and nutrient concentration respond differently. *Archives of Agronomy and Soil Science,* 66(12), 1679-1691. https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1688788
94. Rowland, D.L., Smith, C., Cook, A., Mason, A., Schreffler, A., & Bennett, J. (2015). Visualization of peanut nodules and seasonal nodulation pattern in different tillage systems using a minirhizotron system. *Peanut Science*, 42, 1–10. https://doi.org/10.3146/0095-3679-42.1.1
95. Ruisi, P., Giambalvo, D., Di Miceli, G., Frenda, A.S., Saia, S., & Amato, G. (2012). Tillage effects on yield and nitrogen fixation of legumes in mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 104, 1459–1466. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0070
96. Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., van Wijk, M., Rufinio, M.C., Nyamangara, J., & Giller, K.E. (2011). A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture practices on maize yields under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 657–673. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0040-2
97. Safari, A., Asodar, M.A., Ghaseminejad, M., & Abdalimashhady, E. (2014). Effect reserve residue, conventional tillage systems and seeding on soil physical properties and wheat yield. *Iranian Journal of Agriculture Science and Stability Production*, 23(2), 49-59. (In Persian with English abstract).
98. Saglam, A., Kadioglu, A., Terzi, R.A.B.İ.Y.E., & Saruhan, N. (2008). Physiological changes in them in post-stress emerging *Ctenanthe setosa* plants under drought conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(1), 48-53. https://doi.org/10.1134/S1021443708010056
99. Sairam, R.K., Rao, K.V., & Srivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5), 1037-1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9
100. Sapkota, J.R.K., Singh, T.B., Jat, R.G., Kumar, M.L., & Gupta, R.K. (2014). Seven years of conservation agriculture in a rice–wheat rotation of Eastern Gangetic Plains of South Asia: Yield trends and economic profitability. *Field Crops Research*, 164, 199-210. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.015
101. Sarker, A.M., Rahman, M.S., & Paul, N.K. (1999). Effect of soil moisture on relative leaf water content, chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183(4), 225-229. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00339.x
102. Shinde, B.P., & Singh, N. (2017). Efficacy of AM fungi against drought stress on sweet corn cultivars with special reference to biochemical contents. *International Journal of Bioassays*, 6, 5399-5406. http://dx.doi.org/10.21746/ijbio.2017.06.004
103. Shiwakoti, S., Zheljazkov, V.D., Gollany, H.T., Kleber, M., & Xing, B. (2019). Effect of tillage on macronutrients in soil and wheat of a long-term dryland wheat-pea rotation. *Soil and Tillage Research*, 190, 194-201. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.02.004
104. Subramanian, K.S., & Charest, C. (1999). Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza*, 9, 69–75. https://doi.org/10.1007/s005720050002
105. Tesfaye, K., Walker, S., & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25(1), 60-70. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.014
106. Thierfelder, C., & Wall, P.C. (2010). Rotation in conservation agriculture systems of Zambia: Effects on soil quality and water relations. *Experimental Agriculture*, 46(3), 309-325. https://doi.org/10.1017/S001447971000030X
107. Torabian, S., Farhangi-Abriz, S., & Denton, M.D. (2019). Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, 185, 113–121. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006
108. Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, 35(4), 753 759. https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6
109. Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U., & Piche, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12), 5004–5007. https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998
110. Wang, G.P., Zhang, X.Y., Li, F., Luo, Y., & Wang, W. (2010). Over accumulation of glycine betaine enhances tolerance to drought and heat stress in wheat leaves in the protection of photosynthesis. *Photosynthetica*, 48(1), 117-126. https://doi.org/10.1007/s11099-010-0016-5
111. Wang, L.F., & Shangguan, Z.P. (2015). Photosynthetic rates and kernel-filling processes of big-spike wheat (*Triticum aestivum* L.) during the growth period. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 43, 182-192. https://doi.org/10.1080/01140671.2014.994644

112. Wang, X., Zhang, X., Chen, J., Wang, X., Cai, J., Zhou, Q., & Jiang, D. (2018). Parental drought-priming enhances tolerance to post-anthesis drought in offspring of wheat. *Frontiers in Plant Science,* 9, 261. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00261
113. Wasaya, A., Tahir, M., Ali, H., Hussain, M., Yasir, T.A., Sher, A., & Ijaz, M. (2017). Influence of varying tillage systems and nitrogen application on crop allometry, chlorophyll contents, biomass production and net returns of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 170, 18–26. https://doi.org/10.1016/j.still.2017.02.006
114. Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2
115. Wilkinson, S., & Davies, W.J. (2002). ABA-based chemical signaling: The coordination of responses to stress in plants. *Plant Cell and Environment*, 25, 195–210. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00824.x
116. Wu, Q.S., & Xia, R.X. (2006). Arbuscolar mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, 163, 417-425. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024
117. Xu, M., Liu, R., Chen, J.M., Liu, Y., Shang, R., Ju, W., Wu, C., & Huang, W. (2019). Retrieving leaf chlorophyll content using a matrix-based vegetation index combination approach. *Remote Sensing of Environment*, 224, 60–73. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.039
118. Zakar, T., Laczko-Dobos, H., Toth, T.N., & Gombos, Z. (2016). Carotenoids assist in cyanobacterial photosystem II assembly and function. *Frontiers in Plant Science*, 7, 295. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00295
119. Zhang, X.K., Li, Q., Zhu, A.N., Liang, W.J., Zhang, J.B., & Steinberger, Y. (2012). Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. *Ecological Indicators*, 13(1), 75–81. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.009
120. Zhang, Z.L., & Qu, W. (2004). Experimental Guidance of Plant Physiology, High Education Press, Beijing, China.
121. Zivcak, M., Brestic, M., Balatova, Z., Drevenakova, P., Olsovska, K., Kalaji, M.H., & Allakhverdiev, S.I. (2013). Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. Photosynthesis Research, 117, 529–546. https://doi.org/10.1007/s11120-013-9885-3